



**Università degli Studi  
dell'Aquila**



**Ingegneria**

**Corso di laurea in Ingegneria Civile  
e Ambientale**

**MITIGAZIONE DAL RISCHIO  
FRANE A SALVAGUARDIA DEI  
CENTRI STORICO-  
MONUMENTALI**

**Relatore**

Prof. Gianfranco Totani

---

**Studente**

Gianluca Pelagatti

---

**A.A. 2016 / 2017**

**Matricola**

227563

*Riconoscere il problema  
è il primo passo per affrontarlo.*

*(Fausto Guzzetti)*

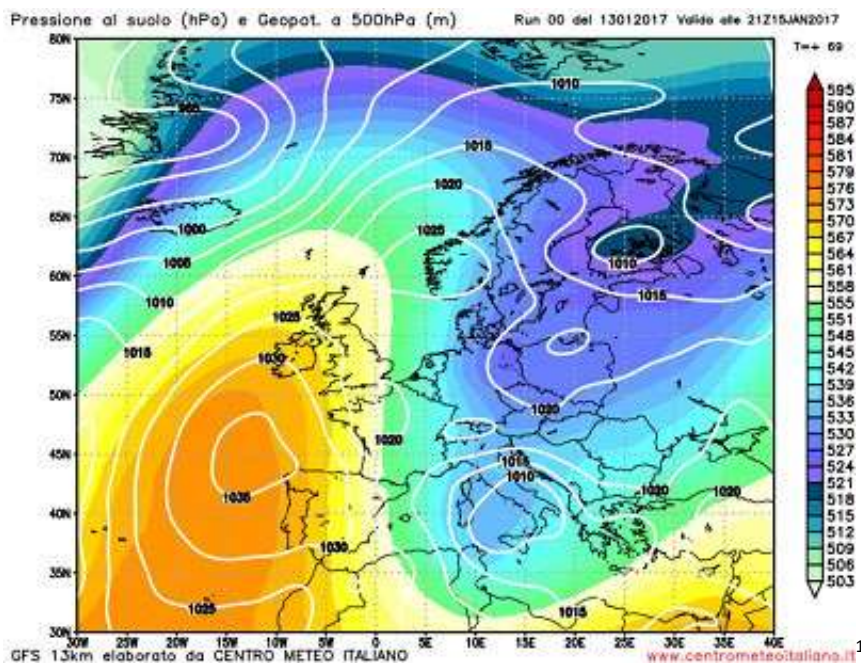
## Indice

1. Un evento straordinario, l'inverno del 2017 in Abruzzo.....	4
2. Conoscere il territorio.....	12
2.1 Demografia, politica e monumenti dei centri abitati.....	14
2.1.1 Campli.....	14
2.1.2 Civitella del Tronto.....	15
2.1.3 Atri.....	16
2.2 Inquadramento geomorfologico.....	18
2.3 Vulnerabilità delle infrastrutture presenti.....	22
2.4 Gestione dell'emergenza: dopo l'evento.....	25
2.5 Rilievo fotografico.....	27
3. Introduzione teorica.....	30
3.1 Principio degli sforzi efficaci.....	32
3.1.1 Influenza della pressione neutra interstiziale.....	33
3.2 Cos'è una frana.....	35
3.3 Cause delle frane.....	38
3.3.1 Modelli di relazione analitica pioggia – frana.....	38
3.4 Calcolo della stabilità.....	41
3.4.1 Metodi all'equilibrio limite.....	41
3.4.2 Metodi dei cunei.....	42
3.4.3 Metodi dei conci.....	42
3.4.4 Rottura progressiva nei metodi LEM a conci.....	43
3.4.5 Coefficiente di sicurezza e velocità di spostamento.....	44
3.4.6 Scelta del fattore di sicurezza di progetto.....	44
3.4.7 Metodi numerici.....	46
3.5 Spinte sulle palificate.....	46
3.5.1 Spinte locali sulle opere di sostegno: modello di Rankine (1857).....	47
3.5.2 Spinte locali sulle opere di sostegno: modello di Coulomb (1776).....	49
3.6 Opere di sostegno.....	50
4. Focus.....	54
4.1 Relazione tra le precipitazioni e le frane.....	54
4.1.1 Il cambiamento climatico: cause e conseguenze.....	56
4.2 Relazione tra la vegetazione e le frane.....	60
4.3 Enti interessati.....	65

4.3.1 Il progetto PAI.....	69
5. Normativa vigente.....	73
5.1 La normativa NTC2008 .....	73
5.1.1 Alcuni stralci della normativa NTC .....	73
5.2 La normativa di ItaliaSicura.....	75
5.2.1 Articoli sul dissesto idrogeologico di rilievo .....	75
6. Un nuovo approccio: prima dell'evento.....	77
6.1 Mitigazione, prevenzione e resilienza.....	77
6.2 Il monitoraggio.....	85
7 Ipotesi di intervento sulle frane in analisi .....	89
8 Conclusioni .....	94
9 Bibliografia .....	97
Ringraziamenti.....	99

## 1. Un evento straordinario, l'inverno del 2017 in Abruzzo

I primi giorni del gennaio 2017 sono ricordati in tutta Europa, come i più freddi degli ultimi anni. Non solo le temperature hanno visto un calo fino a 30°C sotto la media, ma intense nevicate e precipitazioni hanno colpito gran parte del continente.



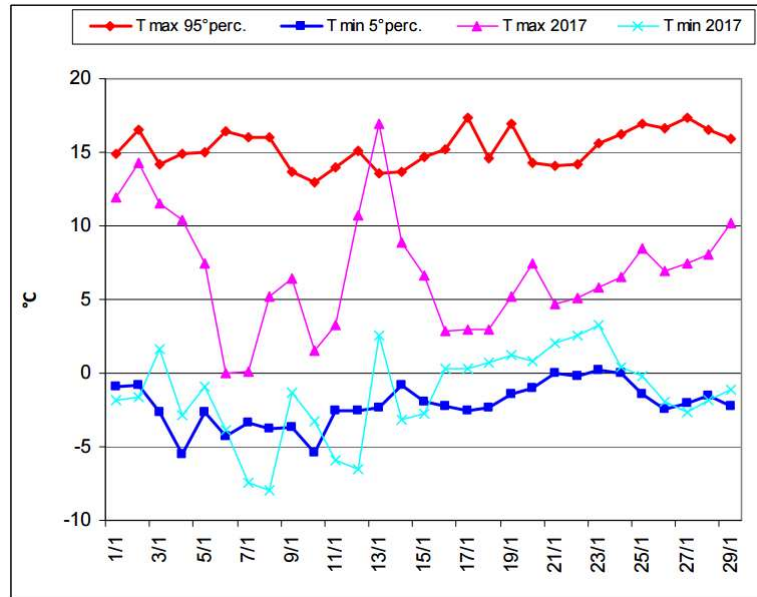
La perturbazione più imponente, proveniente da Nord-Ovest, ha investito tutta l'area costiera adriatica e, in particolare, le regioni Abruzzo, Marche, Molise e Puglia che furono le più colpite dall'insieme di eventi.

La continuità delle precipitazioni registrate nel primo mese è stata straordinaria; quelle a carattere nevoso si sono concentrate nei giorni 5-7 e 16-18 gennaio. Il "Servizio Presidi Tecnici di Supporto al Settore Agricolo", cui fa riferimento il Servizio Idrografico abruzzese, nella sua relazione espone le variazioni di temperatura registrate: in particolare nei valori massimi un intervallo compreso tra 3,3°C nel Fucino e 9,4°C a Fossacesia, delineando l'area meridionale come leggermente più calda, mentre la provincia teramana vede un più severo irrigidimento delle temperature medie addirittura sotto lo 0°C. Si analizza la quantità di giorni con temperature inferiori a 0°C e -5°C, essendo significativa in termini di danni al territorio ed alla capacità di adattarsi per molte specie viventi; nelle aree interne dell'Aquilano la temperatura è

<sup>1</sup> Analisi Modelli GFS 00Z del 13 gennaio 2017 ([http://www.centrometeoitaliano.it/notizie-meteo/analisi-modelli-gfs-00z-del-13-gennaio-2017-confermata-l-onda-di-maltempo-con-nuove-piogge-e-neve-al-centro-sud-italia-13-1-2017-46710/?refresh\\_cens](http://www.centrometeoitaliano.it/notizie-meteo/analisi-modelli-gfs-00z-del-13-gennaio-2017-confermata-l-onda-di-maltempo-con-nuove-piogge-e-neve-al-centro-sud-italia-13-1-2017-46710/?refresh_cens))

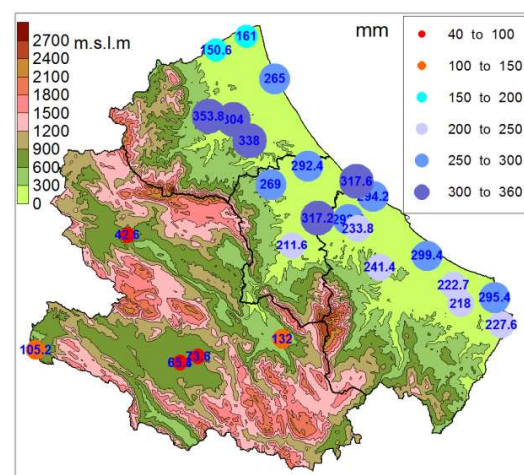
scesa tutti i giorni sotto lo 0°C, nella fascia collinare si ha il minimo di 7 giorni a San Salvo e Giulianova, quindi sulla costa, ed il massimo di 20 giorni a Città S. Angelo.

Nella stazione di Teramo si confrontano i dati relativi alle temperature del 95° grado percentile e 5° grado percentile registrate dal 1971 al 2000 e le temperature nel mese di gennaio 2017.



L'analisi pluviometrica mostra come le masse d'aria di origine balcanica, spinte verso l'interno da strutture depressionarie, hanno scaricato la loro umidità sui rilievi per arrivare, più deboli, nelle aree endo-montane.

È evidente come i valori sulla costa, in particolare nell'area teramana superando i 300 mm, siano notevolmente superiori ai valori delle aree interne del Fucino e Aquilano con punte di 100 mm.



2

<sup>2</sup>Distribuzione territoriale dei valori cumulati di precipitazione giornaliera nel mese di gennaio 2017.

In base a questi dati raccolti, si è definito l'evento "eccezionale" ed "estremo", avendo raggiunto i valori massimi storici sia dal punto di vista pluviometrico, che da quello termico. Questa combinazione risulta catastrofica per un territorio non abituato e non in grado di far fronte a tale emergenza. Gravi danni furono registrati sia sulla vegetazione, quindi sul piano agro-commerciale, sia sul piano socio-economico della stessa popolazione, costretta a fronteggiare difficoltà mai riscontrate fino ad allora. Ma una conseguenza ben più grave fu la saturazione del terreno a causa delle continue precipitazioni, conseguentemente l'insieme delle frane e degli smottamenti furono tali da rendere aree e viabilità completamente inagibili.

Il 18 gennaio 2017 i sismografi del centro Italia registrano un'intensa attività nell'area di Montereale (AQ) vicino il lago di Campotosto, allarmando l'intera cittadinanza locale per un eventuale danneggiamento delle strutture di contenimento delle dighe, oltre che rievocare il disagio generale in un territorio già precedentemente colpito da terremoti nei mesi precedenti. Una scossa di

magnitudo 5.5 della scala Richter fu registrata alle ore 11:14, con uno sciame sismico durato diversi giorni.



È comprensibile il disagio sociale oltre che il livello di crisi della gestione dell'emergenza, passata da "eccezionale" a completamente unica del suo genere, il sisma colpì un'area già fortemente in allarme per le intemperie meteorologiche: numerose abitazioni furono danneggiate strutturalmente prima dalla neve caduta abbondantemente fino in pianura, poi dal forte terremoto. Nell'insieme dell'emergenza è doveroso ricordare la valanga che colpì la struttura turistica di Rigopiano, località del comune di Farindola (PE), dove morirono 29 persone che vi alloggiavano proprio il 18 gennaio.

Come ben noto, le più grandi difficoltà dei soccorsi furono gli spostamenti e il trasporto di mezzi utili nelle zone più remote delle province di Pescara, Teramo e L'Aquila. Inoltre vi furono prolungate interruzioni dell'energia elettrica, quindi del riscaldamento, e del collegamento idrico con diversi centri abitati; questi rimasero isolati anche a livello veicolare: diverse strade principali e locali franarono o rimasero bloccate dalla neve.

Lo stato di crisi continuò fino agli ultimi giorni del mese di febbraio come si legge dai numerosi resoconti delle forze dell'ordine o direttamente dai giornali locali.

Nel periodo di massima emergenza si legge:

## Viabilità provinciale compromessa dalle nevicate: cresce il numero delle strade chiuse per frane

Continua incontenibile il fenomeno del movimento franoso conseguente all'ondata di mal tempo che ha flagellato la provincia di Pescara.

Frane, smottamenti, crolli hanno inibito alla circolazione molte strade provinciali.

Oggi il settore viabilità ed edilizia scolastica della Provincia ha dato un primo report sulla situazione verificatasi negli ultimi due giorni, aggiornata a questo pomeriggio:

- Strada Provinciale 66, Bolognano-Musellaro-Salle-San Tommaso: chiusa per frana al km 3+400;
- SP 20 tra Pianella e località Cartiera, in direzione Loreto: chiusa per frana per 100 metri ( tra km 11+600 e km 11+700);
- Chiusa completamente al transito la SP 70 direzione Roccacaramanico, dal km 0 al km 2;
- Chiusa integralmente al transito la SP 12 (Collatuccio – Mirabello) dal km 0 al km 3+400;
- Chiusi due lunghi tratti dalla SP 8 (Penne. Bivio Cupoli-bivioMirri-Rigopiano) dal km 12+600 al km 28+800 (oltre 16 chilometri), e dal km 0 al km 12+600 (altri 12 km e 600 metri);
- Chiusa per un lungo tratto anche la SP 35 (Catignano-Tarallo), dal km 0 al km 10+300;
- Chiusa la SP 10 (SS 81 Montebello, Farindola, bivio Mirri) al km 16+750;
- Chiusa in vari punti la SR 602: 100 metri al km 36 e in vari altri tratti dove si sono aggravati i fenomeni franosi già in corso;
- Chiusa al transito la SP 53 (Torre de Passeri- variante Castiglione a Casauria – Pescosansonesco – Corvara - bivio S. Biagio) dal km 2+400 al km 3+560;
- Chiusa per 8 chilometri la SP 60 (Botte-Roccamorice-Fonte Tettone) dal km 8 al km 16+600;
- Chiusa SP 7 (Penne-villa Degna) dal km 2+150 al km 3+200.

Molte altre strade sono interessate da piccoli smottamenti e buche, ma sono transitabili. Si raccomanda la massima attenzione: è necessario percorrere tutte le strada a velocità ridotta e con molta cautela.

3

L'immagine è catturata del sito della Provincia di Pescara durante la fase di evoluzione dell'allerta principale dovuta alle difficili condizioni meteo. Si evidenzia il numero di interruzioni nella zona di Penne (PE) che collega i comuni e le piccole località satelliti.

Il 23 gennaio il sito della Provincia di Teramo riporta un aggiornamento sulle condizioni delle infrastrutture per la viabilità: la situazione continua ad essere critica. Un totale di 18 strade chiuse, ma sono registrati ben 96 punti di danneggiamento in tutta la rete provinciale.

---

<sup>3</sup> Sito della provincia di Pescara:

[http://www.provincia.pescara.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1786:viabilita-provinciale-compromessa-dalle-nevicate-cresce-il-numero-delle-strade-chiuse-per-frane&catid=204:comunicati-stampa-della-provincia-di-pescara&Itemid=134](http://www.provincia.pescara.it/index.php?option=com_content&view=article&id=1786:viabilita-provinciale-compromessa-dalle-nevicate-cresce-il-numero-delle-strade-chiuse-per-frane&catid=204:comunicati-stampa-della-provincia-di-pescara&Itemid=134)



## #emergenzabruzzo Aggiornamento sullo stato delle strade provinciali alle ore 9.00 del 23 Gennaio



Tutte le strade di competenza di questa Provincia hanno subito danni dalle abbondanti nevicate. Tutte le strade devono essere percorse solo per ragioni di emergenza e/o se strettamente necessario, con estrema cautela e idonee dotazioni invernali. Si invita ad intraprendere qualsiasi viaggio solo dopo aver verificato l'accessibilità del luogo di destinazione e del tragitto. Sulle strade sono presenti numerosi mezzi per lo sgombero neve e di soccorso per cui è necessario procedere con attenzione onde evitare, inoltre, di intralciare le operazioni. È obbligatorio mantenere la distanza di sicurezza di almeno 100 m tra i veicoli soprattutto nelle località dove il manto nevoso è superiore a 2 m.

**Numero di strade chiuse nr. 18**

	Denominazione	Punti Estremi	Abitati Principali Attraversati	Comuni interessati SS.PP.	Km	APERTA / CHIUSA	INFORMAZIONI
1	S. P. 39/B - di Pagliara	Da Isola del Gran Sasso San Pietro, alla pineta e diramazione per Pagliara		Isola del G.S.	5+000	CHIUSA	

4

La Strada Statale 81, denominata Piceno Aprutina collega Ascoli Piceno e Casoli (CH) attraversando Teramo e Penne (PE), è la via principale che comunica col teramano da nord a sud nell'entroterra collinare; è anche la via più colpita da fenomeni di frana localizzata, come in località Penna Sant'Andrea (TE) al km 50+800 deviando il traffico sulle vie locali. In un comunicato di cronaca del Centro (uno dei maggiori quotidiani regionali) alla sezione di Teramo viene denunciata una frana il 13 febbraio. Di seguito si legge:

*“La frana di Penna Sant'Andrea è soltanto l'ultima di un lungo elenco. Dal 26 gennaio la Provincia ha emanato 22 ordinanze di chiusura parziale o totale di altrettante strade. Mercoledì scorso la collina di Mezzanotte, alle porte di Teramo, ha cominciato a premere sul Lotto zero, che è stato prima chiuso e poi sequestrato, nel tratto che dal capoluogo porta a Montorio. Sgomberate 25 famiglie a Ripe di Civitella: è in movimento un fronte di 50 ettari di terreno che minaccia tutto l'abitato, già minato dalla frana di due anni fa. Sono altrettante, 25, le famiglie sgomberate nel complesso in territorio di Atri. Le zone più colpite sono Casoli, contrada Corona, la zona adiacente all'ospedale, via Canala, Villa Ferretti. E così 25 famiglie, l'altroieri mattina, hanno fatto in velocità i bagagli e sono state trasferite all'hotel Felicioni a Pineto e all'hotel La Lanterna a Silvi. I disagi alla viabilità nella zona sono notevoli: sulla statale 553 che collega Silvi ad Atri tra la Cona e contrada Cavalieri si viaggia a senso unico di marcia a causa di smottamenti del terreno. Cedimenti anche sulla Atri-Trecciminiere e a Silvi Paese dove è franata una parete di collina sotto alcune abitazioni in via San Rocco. Paura anche sulla provinciale 28 dove in alcuni punti la carreggiata si è aperta per 40 centimetri.”*

<sup>4</sup> Sito della provincia di Teramo:

<http://www.provincia.teramo.it/sala-stampa/emergenzaabruzzo-aggiornamento-sullo-stato-delle-strade-provinciali-alle-ore-9-00-del-23-gennaio/>

In queste righe è ben evidente lo stato di disagio dell'intera popolazione abruzzese nell'affrontare l'emergenza divenuta critica su tutti i fronti di rischio: dalle frane dei terreni alle interruzioni di risorse energetiche, fino alle sempre costanti temperature rigide e condizioni di maltempo.

Come già accennato, gravi difficoltà si videro nell'erogazione dei servizi primari quali acqua, gas ed elettricità. L'11 febbraio il comune di Città Sant'Angelo (PE) è costretto ad affrontare la carenza d'acqua potabile a causa di una rottura del serbatoio principale in località Villa San Romualdo (TE), tra i centri di Elice (PE) e Atri (TE). I quotidiani locali riportano la notizia:

*“CITTÀ SANT'ANGELO, FRANA LASCIA ALCUNE ZONE SENZA ACQUA: I DETTAGLI*  
*Una frana sta provocando disagi e criticità a Città Sant'Angelo oggi, sabato 11 febbraio. E questo in particolare per quanto riguarda l'erogazione dell'acqua. Come confermato dal sindaco della città angolana, Florindi, l'ACA ha informato che una frana ha provocato la rottura dell'adduttrice principale in zona Villa San Romualdo, e a causa del guasto i serbatoi di Colle di Sale e di Cipressi sono rimasti vuoti. I tecnici sono all'opera per cercare di riparare il danno ma, data la situazione, al momento non ci sarebbero tempi certi per l'eventuale ripristino. Il primo cittadino angolano ha quindi ipotizzato nel tardo pomeriggio di oggi la possibile fine dei lavori. Se così fosse, l'erogazione del servizio idrico dovrebbe tornare alla normalità nella giornata di domani, domenica 12 febbraio.”<sup>5</sup>*



Le due immagini riportano le criticità del comune di Casoli di Atri a sinistra e la rottura della strada provinciale che collega Notaresco (TE) alla statale SS 150 della piana del Vomano (da “CityRumors.it”) a destra.

<sup>5</sup> Dal sito di PescaraPost:

<http://www.pescarapost.it/cronaca/citta-sant-angelo-frana-acqua-crocifisso-villa-cipressi-11-febbraio-aca/70104/>

La frana di Casoli di Atri viene studiata dal geologo Angelo Iezzi, incaricato dal comune, e descritta su Abruzzoweb.it il 24 febbraio:

*“Una frana lunga circa 250 metri, con un'ampiezza di circa 80 e una profondità che si attesta tra i 3 e 5 metri: potrebbe celare anche un'altra frana più profonda.”*

Viene presentata dallo stesso geologo come una Paleofrana riattivata a causa delle abbondanti piogge e conseguente saturazione del terreno, minacciando direttamente abitazioni e viabilità locale, oltre che i sottoservizi delle infrastrutture presenti. Da sottolineare è l'approccio alla gestione dell'emergenza: si rinuncia ad operare strutturalmente nel tempo immediato, per monitorare tramite rilievi in sito i crolli allo scopo di scongiurare ulteriori danni alle strutture già presenti.

### Frana Campli, sopralluogo tecnici

Geologo P.Civile, complesso ma possibile rallentare crollo



15:10 25 febbraio 2017- NEWS - Redazione ANSA - CAMPLI (TERAMO)

(ANSA) - CAMPLI (TERAMO), 20 FEB - Sopralluogo congiunto, a Ponzano di Civitella del Tronto (Teramo) ed a Castelnuovo di Campli (Teramo), dei tecnici di Protezione civile e Ispra, accompagnati da Genio civile della Regione, per valutare la situazione idrogeologica di frane e crolli sui versanti collinari e del sottosuolo del centro abitato nelle due località, costringendo i rispettivi sindaci ad emettere ordinanze di sgombero dei decine di abitazioni per circa 200 persone. "Due eventi diversi - ha spiegato Paolo Marsan, geologo del Dipartimento della Protezione civile nazionale - mentre a Ponzano ci troviamo di fronte a un movimento di tipo traslazionale che viaggia molto velocemente, questa di Castelnuovo è di conglomerati sabbiosi poco consistenti, ciotolosi. Qui a Campli, la situazione è più complicata per cedimenti improvvisi, soggetti a improvvise riprese di pioggia.

Mentre Ponzano è molto difficile da arrestare, qui facendo studi approfonditi e con opportuni accorgimenti, in qualche modo potrebbe essere rallentata".

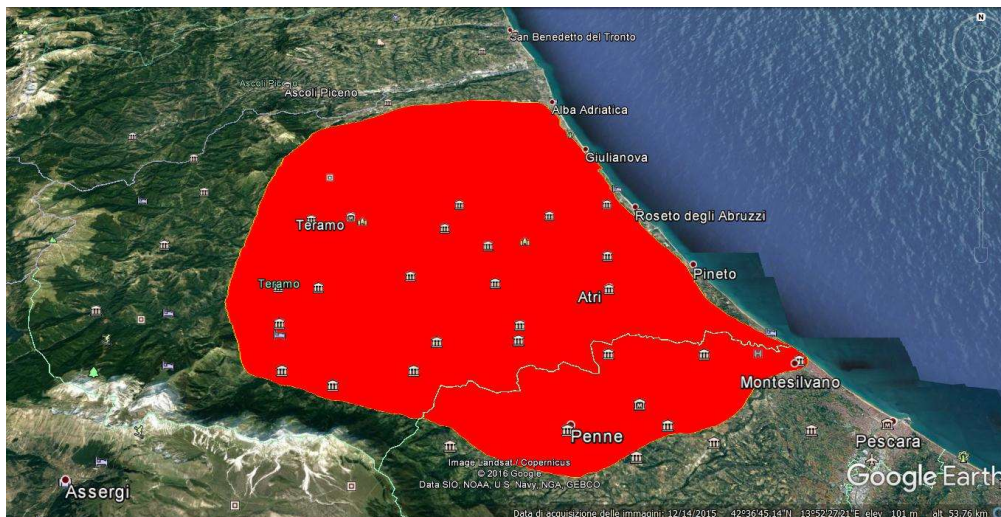
L'immagine documenta un comunicato ANSA (25 febbraio) di un sopralluogo del geologo del Dipartimento della Protezione Civile, Paolo Marsan, avvenuto cinque giorni prima, che presenta una situazione ancora critica del comune di Campli (TE), in località Castelnuovo, con una forte esposizione al rischio delle abitazioni e della viabilità del centro cittadino, così come si espone in località Casoli di Atri. Inoltre, negli stessi giorni è monitorata una frana ancor più imponente nel comune di Civitella del Tronto (TE), in località Ponzano.

*“Frana di Ponzano: la terra continua a scivolare nel silenzio irreale”*

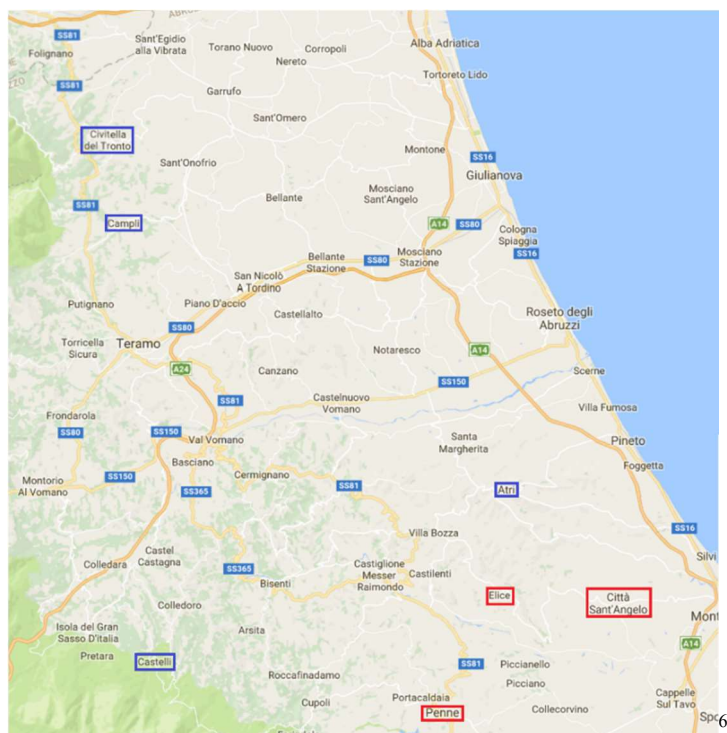
Questo è il titolo di una ennesima notizia della cronaca locale datata 1 marzo (di Luca Zarroli in CityRumors.it), in cui si descrive il terrore della popolazione dopo ben due settimane, attraverso un'apparente stato di quiete del terreno, ma con un moto costante di scivolamento verso valle di un blocco di oltre 30 ettari.



Riassumendo le varie criticità raccolte, l'area di studio si estende dal comune di Penne a Sud al confine regionale con le Marche a Nord e dalla località di Casoli di Atri ad Est fino al comune di Civitella del Tronto a Ovest.



Si evidenziano alcuni comuni maggiormente colpiti dagli eventi di frana descritti, in azzurro sono quelli appartenenti alla provincia di Teramo, in rosso invece della provincia di Pescara.



<sup>6</sup> Le mappe sono catturate dai servizi online di “Google Earth” e “Google Maps”

## 2. Conoscere il territorio

*L'ambiente appartiene ad un sistema,  
non è pericoloso se trattato con  
attenzione e dovuto rispetto.  
(The resilient game)*

Sulla normativa per gli interventi in vigore (NTC2008) il capitolo 6.3 spiega le linee guida per le opere geotecniche riguardo la stabilità dei pendii naturali, sia di controllo e monitoraggio, sia di interventi strutturali e non. In particolare il paragrafo 6.3.1 (Prescrizioni generali) espone:

*“Lo studio della stabilità dei pendii naturali richiede osservazioni e rilievi di superficie, raccolta di notizie storiche sull'evoluzione dello stato del pendio e su eventuali danni subiti dalle strutture o infrastrutture esistenti, la constatazione di movimenti eventualmente in atto e dei loro caratteri geometrici e cinematici, la raccolta dei dati sulle precipitazioni meteoriche, sui caratteri idrogeologici della zona e sui precedenti interventi di consolidamento. Le verifiche di sicurezza, anche in relazione alle opere da eseguire, devono essere basate su dati acquisiti con specifiche indagini geotecniche.”*

Infatti, per un qualsiasi intervento o anche solo analisi di un fenomeno, è strettamente necessario avere piena conoscenza del territorio e dell'area di studio in ogni suo punto di vista. Così facendo è possibile valutare le componenti più a rischio del sistema, prendere atto delle cause di un evento e correlare i dati ambientali al sistema come condizione al contorno del problema.

Lo studio si concentra su tre comuni specifici della provincia di Teramo, fortemente danneggiati dal maltempo dell'inverno 2017, in particolare nel campo litologico e geomorfologico a causa della saturazione eccessiva del terreno, esponendo il rispettivo patrimonio culturale e demografico a gravi rischi.

È stata condotta una ricerca dell'area oggetto d'analisi seguendo le linee guida del Quaderno sull'Idrologia d'Abruzzo, secondo il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Questo documento tratta le problematiche di approvvigionamento dell'acqua potabile e la gestione dei serbatoi di monte, quindi viene analizzata la panoramica sui bacini idrografici nella regione Abruzzo ed il sistema idrico fluviale. Si riporta anche la possibilità di servire il territorio pugliese settentrionale grazie all'accumulo abbondante d'acqua nella stagione di piena.

Allo scopo di avere un quadro migliore della situazione e delle condizioni ambientali, centrandosi sulla pluviometria del territorio, si analizzano le informazioni geografiche dei vari bacini.

Nel complesso si analizzerà nel dettaglio l'aspetto geomorfologico della regione, quindi dei vari sistemi montuosi presenti, che sono sorgenti primari di acqua potabile. Dei sei ambiti territoriali abruzzesi, viene evidenziato quello dell'aquilano, con gli acquedotti di:

- Chiarino, per le frazioni de L'Aquila;
- Acqua Oria, per L'Aquila;
- Gran Sasso Sud, per Acqua Oria e Ferriera;
- Ferriera, per le valli del Giovenco, Navelli e Fucino;
- Rio Pago, per Ovindoli, Rocche di Mezzo e di Cambio e Celano.

Il sistema teramano, con gli acquedotti di:

- Ruzzo, per una parte della provincia teramana;
- Gran Sasso Sud e Nord;
- Vomano, per Roseto, Giulianova, Pineto, Alba Adriatica;

Mentre il sistema pescarese presenta gli acquedotti di:

- Ruzzo;
- Gran Sasso Sud e Nord;
- Vomano;
- Tavo, per Montesilvano e Silvi;
- Giardini, per la Val Pescara.

Infine, si presentano le diverse aree di bonifica del sistema irriguo in funzione dei fabbisogni della regione: il territorio è diviso nei cinque consorzi di bonifica, ovvero a Ovest l'Altopiano del Fucino e Pescara, all'interno i consorzi di L'Aquila, Capestrano e Pratola, a Nord i Distretti del Tordino e del Vomano, nel centro i comprensori di Pescara, Val di Foro e Vestina, infine a Sud i comprensori del Vastese e del Frentano. Dallo studio risulta che i cinque consorzi irrigano con una portata di ben  $254,17 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/anno d'acqua per la popolazione.

## 2.1 Demografia, politica e monumenti dei centri abitati

I dati che si presentano sui tre comuni in analisi sono stati presi dai motori di ricerca Comuniverso (<http://www.comuniverso.it>) e Wikipedia ([https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina\\_principale](https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale)), con gli ultimi aggiornamenti e censimenti effettuati dalle rispettive amministrazioni.



### 2.1.1 Campli

Il comune di Campli si sviluppa su un'area di 73,43 km<sup>2</sup> e confina con i territori di Civitella del Tronto, Sant'Omero, Bellante, Teramo, Valle Castellana e Torricella Sicura; è situato su un'altura a 393 m sul livello del mare ed è popolato da 7170 abitanti (censimento del 30 settembre 2016).

Appartiene al bacino del Tordino, dove la porzione mediana presenta notevoli fenomeni franosi e di creep, ma assenza di carsismo.

Nella sua storia il comune raggiunse la massima notorietà nel 1600 grazie a Papa Clemente VIII, ad istanza di Ranuccio I Farnese, che elevò la città a sede vescovile: la diocesi venne soppressa con il concordato del 1818 tra Pio VII e Ferdinando I, da allora Campli è sede titolare cattolica. Infatti, riceve proprio nel 1600 l'onorificenza della "Bolla di Papa Clemente VIII", acquisendolo come titolo di città.

Proprio alla luce del suo passato di alto rango nell'Età rinascimentale, il comune di Campli è ricco di monumenti di architettura religiosa e civile. Di riferimento è la chiesa di San Giovanni Battista, oltre alla Porta Orientale di Castelnuovo e alla Scala Santa risalente al 1776 ed annessa alla chiesa di San Paolo.

La chiesa di San Giovanni Battista è il principale luogo di culto della comunità locale situata nel quartiere di Castelnuovo, a ridosso della Porta Orientale, è parte dei "Monumenti nazionali" dal 1902. Altre chiese minori sono quella di San Francesco d'Assisi del XIV secolo, la Collegiata di Santa Maria in Platea del 1300 (inclusa anch'essa nell'elenco dei Monumenti nazionali).

La struttura civile di massimo rilievo è il Palazzo del Parlamento, attualmente sede municipale, costruito nel XIV secolo ed incluso nei Monumenti nazionali dal 1902. Inoltre si riportano il Museo Archeologico Nazionale, la Torre dei Melatino del 1394 situata in contrada Nocella e l'architettura di palazzi lungo il Corso del paese.



Il comune si trovò ad affrontare eventi di calamità naturale già nella metà del secolo scorso, così come tutta l'area geografica: nel 1950 ci fu un'intensa attività sismica; successivamente nell'aprile 1958 si ripeterono eventi simili, fino all'anno seguente. In ultimo si ricorda il terremoto del 2009 in territorio aquilano, che coinvolse anche il comune di Campi; la più recente è la sequenza sismica ancora in atto dall'agosto 2016 sul confine tra le regioni del centro Italia.



### 2.1.2 Civitella del Tronto

Il comune di Civitella del Tronto occupa una superficie di 77,74 km<sup>2</sup> toccando i territori di Campi, Folignano, Ascoli Piceno, Sant'Egidio alla Vibrata, Sant'Omero e Valle Castellana; è situato su una rupe rocciosa di travertino a 589 m sul livello del mare ed è popolato da 5089 abitanti (censimento del 31 luglio 2016). Il comune fa parte della fascia montuosa della regione, nella zona orografica dell'Adriatico, che presenta rilievi ad alta energia, superiori a 2000 m, con notevole acclività dei versanti.

Rientra nel bacino del Salinello, nella porzione dell'alto corso del fiume, caratterizzato da aree boscate e cespugliate, con limitate zone di coltura di frutteti e vigneti.

Le origini del centro urbano sono poco chiare, ma si hanno ritrovamenti di tracce antropiche risalenti al Neolitico ed al Paleolitico Superiore. Per gli storici Civitella avrebbe origine nei secoli IX e X come città incastellata in difesa dagli attacchi ungari e saraceni. Nella storia medioevale, la città-fortezza fu costretta a subire assedi e conquiste da parte dei regni locali ascolani e teramani, poi contesa anche dagli Angioini e dagli Aragonesi nel 1442. Il nome è dovuto alla successiva Guerra del Tronto nel 1557 e può vantare del grado di Civitas con titolo di Fidelissima, conferito da Filippo II di Spagna nel 1589. Recentemente, nel 2010, la città



ottenne il riconoscimento nazionale per il coraggio e l'assistenza ai prigionieri del campo di concentramento nazista durante il secondo conflitto mondiale.

Data la sua lunga e ricca storia, Civitella del Tronto conserva numerosi monumenti ed opere che la caratterizzano: in particolare tutta la sua parte storica formata dalla stessa fortezza e la Ruetta del centro antico, ovvero il sistema urbano a scopo difensivo della Civitas. Inoltre, si cita Porta Napoli ad Est del borgo e la fontana degli amanti costruita nel 1863.



Anche il patrimonio dell'architettura religiosa è ricca di riferimenti quali il santuario di Santa Maria dei Lumi, l'antica chiesa di San Lorenzo (primo patrono della città) costruita nel 1557 all'interno del borgo; nel 1326 fu costruita la chiesa di San Francesco sotto il volere di Roberto d'Angiò, ma nel corso dei secoli divenne oggetto di discordia tra la società ed il clero. In ultimo, si evidenzia la chiesa di Santa Maria degli Angeli eretta nei secoli XV e XVI.

Il patrimonio naturale del comune è rappresentato dal sistema di grotte e caverne, con grande risalto per la grotta di Salomone e quella di Sant'Angelo; infine è necessario evidenziare la presenza delle suggestive Gole del Salinello che si ergono ai piedi della parete Sud della Montagna dei Fiori.

Gli eventi sismici registrati sono gli stessi che misero in difficoltà la città di Campoli, essendo a pochi chilometri di distanza, quindi un'intensa attività dalla seconda metà del XX secolo, fino alle recenti scosse del Centro Italia.

### 2.1.3 Atri



Il comune di Atri ha una superficie di 92,18 km<sup>2</sup> e confina con i territori di Castilenti, Celino Attanasio, Città Sant'Angelo, Elice, Montefino, Morro d'Oro, Notaresco, Pineto, Roseto degli Abruzzi e Silvi; è situato sul Colle di Giustizia a 444 m sul livello del mare, a circa 5 km dalla costa adriatica, ed è popolato da 10740 abitanti (censimento del 31 agosto 2016). Il comune rientra nella fascia collinare caratterizzata da rilievi a debole energia, con processi morfogenetici di tipo gravitativo e di erosione ad opera delle acque correnti.

Appartiene al bacino del Piomba, attualmente in continuo sviluppo data la presenza dell'area industriale compresa tra la provincia di Pescara e la provincia di Teramo.

L'origine di Atri risale alle più antiche epoche Neolitiche, in cui popolazioni provenienti dalla Dalmazia diedero il primo nome di Hatria in seguito alle migrazioni tra il X ed il IX secolo a.C. Data la sua vicinanza dal mare, fu un nodo di importanza commerciale in età romana, sfruttato dalle popolazioni italiche e greche. Nel corso dei secoli successivi, la storia di Atri fu molto simile a quella di Civitella del Tronto: vide l'alternarsi di assedi e conquiste da parte dei regni teramani, oltre che avvicendamenti del clero nella politica delle Diocesi del XIV secolo.

La città di Atri è premiata più volte da "Italia Nostra" grazie alla quantità di opere monumentali che conserva nel suo centro storico, come palazzi, piazze e musei, e perciò proclamata a tutti gli effetti "città d'arte" del patrimonio culturale nazionale.



Dell'architettura religiosa si dà risalto a Piazza Duomo, con la Basilica Concattedrale di Santa Maria Assunta; questa è monumento nazionale ed è stata costruita nella seconda metà del XIII secolo. Inoltre si ricorda la chiesa di Santa Reparata eretta nel 1355 e una lunga serie di chiese risalenti agli anni del basso Medioevo, come quella di San Francesco d'Assisi, di San Liberatore, di San Nicola ed il monastero delle Clarisse con la chiesa di Santa Chiara d'Assisi.

Il patrimonio naturale del comune è rappresentato completamente dai Calanchi d'Atri, fenomeni di carsismo estesi e ben visibili, mete turistiche e protette dalle SIC dello Stato italiano.

Ancora una volta si riportano i numerosi eventi sismici che colpirono la regione, concentrati nella seconda metà del XX secolo, ma attivi già dal 1884 con un terremoto che danneggiò Atri, Penne e Città Sant'Angelo.

## 2.2 Inquadramento geomorfologico

La regione presa in esame è delineata dalle provincie di Teramo e Pescara, un'area di circa 120 km<sup>2</sup> che confina a Oriente con il litorale Adriatico e ad Occidente con il massiccio del Gran Sasso.

In prima analisi, la geologia del territorio si basa su tre formazioni di rocce sedimentarie (dalla carta geologica d'Italia di APAT 1:1250000 del 2005):

- Lungo la costa la presenza di calcari, detritici ed organogeni, calcari marnosi, marne, peliti, sabbie e conglomerati; risalente alle Epoche del Pliocene e del Pleistocene.
- Nella zona collinare la presenza di torbidi arenacee e pelitio-arenacee, calcari marnosi, marne e peliti; risalente all'Epoca del Pliocene Inferiore.
- Nella zona montana la presenza di torbidi arenacee e arenaceo-pelitiche, talvolta marne bituminose, gessi e gessareniti torbiditiche; nella parte inferiore intercalazioni di calcari marnosi, marne e breccie carbonatiche; risalente al Periodo del Messiniano (Epoca del Miocene).

Era	Periodo	Epoca	Ma*
Cenozoico	Neogene	Olocene	0.0117-oggi
		Pleistocene	1.8-0.0117
		Pliocene	5.2-1.8
	Paleogene	Miocene	24-5.2
		Oligocene	34-24
		Eocene	55-34
		Paleocene	65-55



Secondo l'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (progetto IFFI) pubblicato da APAT nel 2005, si evidenzia che la regione Abruzzo presenta un quadro omogeneo, risultato della deformazione e dei sollevamenti di alcuni domini paleogeografici mesozoici, del Neogene, tra il Miocene Medio e il Pliocene Inferiore. Questa litogenesi ha permesso la formazione delle dorsali appenniniche, quali Gran Sasso, Velino-Sirente, Maiella, Morrone, Marsica, e delle Piattaforme carbonatiche.

La Geomorfologia della regione rispecchia l'orientamento della litografia superficiale, ovvero la distinzione di un'area costiera, un'area pedemontana collinare ed un'area montuosa. L'analisi più approfondita va fatta sull'area collinare, perché il litorale è caratterizzato da una semplice e stretta fascia sabbiosa, su cui si sviluppano i maggiori centri abitati, e la fascia montuosa presenta un paesaggio tipico dai rilievi ad alta energia con notevole acclività dei versanti ma con

<sup>7</sup> Tabella di riferimento delle Epoche appartenenti all'Era del Cenozoico, in cui si sono sviluppati gli attuali continenti (<http://www.archeoetruria.altervista.org/geologia.html>)

più alta stabilità idrogeologica dovuta alla superficie rocciosa. Quindi si ha una fascia intermedia caratterizzata da rilievi a debole energia, massimi fino a 1000 metri, ma incisioni vallive profonde e a forte pendenza dovute all'incanalamento dei numerosi torrenti d'acqua. Infatti, i processi morfogenetici in atto sono costituiti da fenomeni gravitativi e da erosione ad opera delle acque correnti superficiali; verso l'area pedemontana si presenta un'alternanza di scarpate rigide e irregolari a reggipoggio con crolli ad erosione accelerata e versanti dolci ed omogenei a franapoggio con scorrimenti traslazionali e colamenti.

I Bacini fluviali che interessano l'area di studio sono cinque, ognuno delineato dalla presenza di un corso d'acqua più o meno importante: il Vomano, il Tordino, il Salinello, il Saline ed il Piomba. Grazie ai dati raccolti dalla regione Abruzzo (Dott. Ing. Mario Russo e dott. Ing. Luciano Di Biase) si è in grado di analizzare la pluviometria di questi bacini, traendo delle correlazioni tra l'entità dei fenomeni atmosferici e il rischio idrogeologico in esame. L'approccio con la pluviometria è ben spiegata in un paragrafo dedicato.

Nella provincia teramana si evidenzia la formazione di forme carsiche localizzate; il fenomeno del carsismo è molto più sviluppato sulla fascia montana del Gran Sasso, ma si riscontrano notevoli depressioni carsiche nella zona di Atri. Queste caratterizzano l'insieme del patrimonio paesaggistico della comunità locale denominato "Calanchi d'Atri", attrazione turistica sotto tutela delle bellezze naturali di Oasi WWF Italy,

essendo un SIC (Sito d'Importanza Comunitaria), esteso per 380 ettari sul territorio del comune di Atri:

(<http://www.riservacalanchidiatri.it/>).



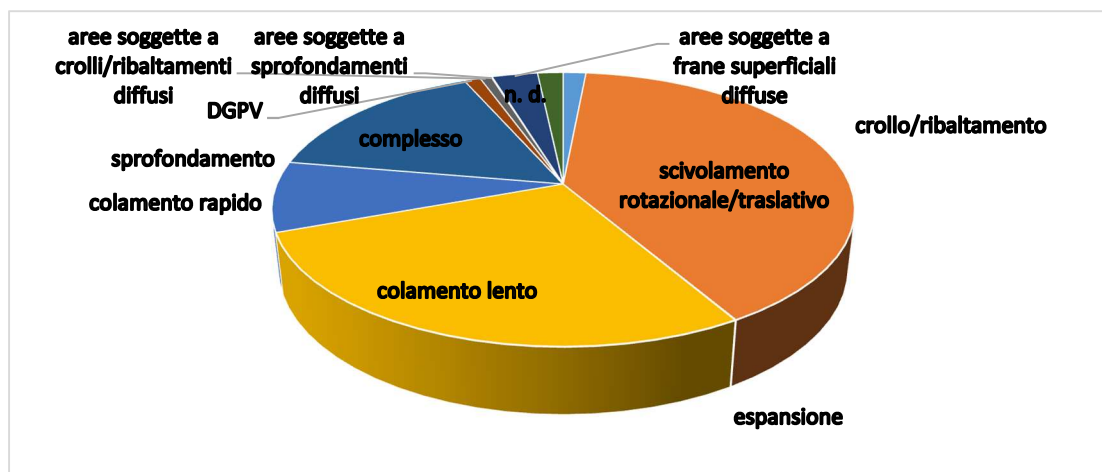
L'uso del suolo si differenzia notevolmente tra il tratto montano interno e quello più collinare costiero: nell'area di maggior interesse dello studio, si vedono formazioni di aree boscate, vegetazione arbustiva e/o erbacea, zone agricole eterogenee e seminative. Maggiori approfondimenti relativi alla vegetazione locale sono trattati nei paragrafi successivi, trovando una relazione diretta che questa ha sulle frane.

In funzione delle condizioni ambientali e litologiche, si riporta l'analisi dei dati effettuata da APAT nel 2005 sull'intero territorio regionale, allo scopo di confrontare le diverse tipologie di dissesto con le condizioni al contorno locali. Questi dati sono in relazione al primo livello dei

PIFF<sup>8</sup>, ovvero la forma di prima perimetrazione che contiene il numero minimo di informazioni necessarie a rendere la segnalazione significativa. I livelli secondo e terzo sono frutto di studi più specifici con sopralluoghi diretti in sito.

PROVINCIA	PIFF	FRANE POLIGONALI	FRANE CARTOGRAFABILI (<10000 m <sup>2</sup> )	NON	AREE SOGGETTE	DGPV <sup>9</sup>	AREA TOTALE FRANE (km <sup>2</sup> )
L'Aquila	941	790	18		78	55	244
Chieti	4039	3472	546		212	9	401
Pescara	1201	1082	60		36	23	162
Teramo	2312	2302	4		0	5	234
Totale	8493	7646	628		326	92	1041

Si può notare la grande quantità di dissesti nella provincia di Chieti, essendo questo molto più esteso nell'area collinare soggetta a frane a causa della tipologia del suolo. Dei fenomeni registrati, le tipologie di frana più ricorrenti sono lo scivolamento rotazionale o traslativo (ben il 40% dei casi), il colamento lento (27,8%) e complesso (15,7%). Il seguente diagramma a torta serve a dare una visione d'insieme di questa classificazione.

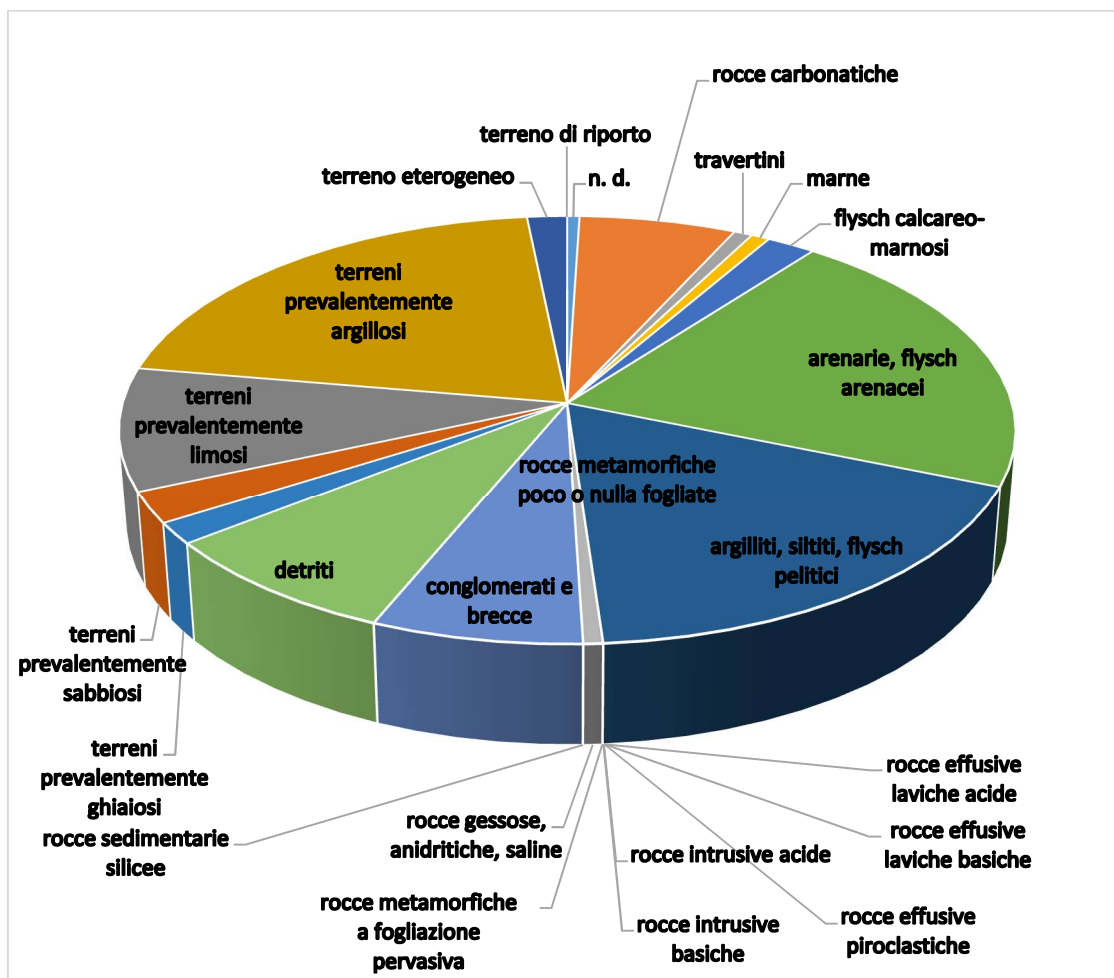


Dei movimenti franosi sopra indicati, è importante censire il fenomeno in funzione dell'attività: infatti risultano attive ben 3796 PIFF, al fronte di 4439 casi quiescenti e soltanto 255 stabilizzati.

<sup>8</sup> PIFF: Punti Indicativi dei Fenomeni Franosi, in rappresentanza dei punti più elevati del coronamento di una frana. (Ministero dell'Ambiente)

<sup>9</sup> DGPV: Deformazione Gravitativa Profonda di Versante, è classificato come frana perché è uno spostamento verso il "basso" di una porzione di pendio a seguito della azione della gravità, ma presenta dimensioni maggiori e velocità ridotte (mm/anno). ([https://it.wikipedia.org/wiki/Deformazione\\_gravitativa\\_profonda\\_di\\_versante](https://it.wikipedia.org/wiki/Deformazione_gravitativa_profonda_di_versante))

Infine si riporta il numero di frane alla litologia del suolo superficiale, tramite una correlazione diretta a valle dello studio geologico della regione:



Dall'ultima analisi si ottiene che le formazioni litologiche più soggette sono le arenarie (20,8%) insieme ai terreni prevalentemente argillosi (20,7%), oltre che alle argilliti, siltiti e flysch pelitici (17,7%). Questo vuol dire che i terreni più sottoposti al dissesto sono quelli di composizione argillosa e granulare, per cui si approfondirà la natura delle formazioni argillose.

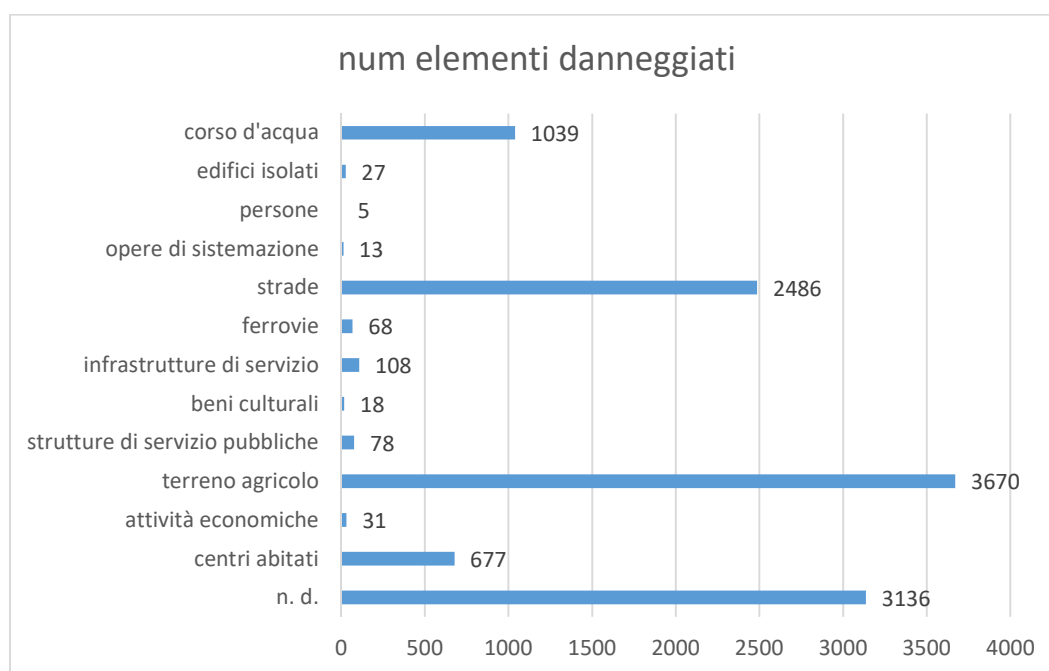
APAT rileva che le aree a IF maggiore (Indice di Franosità relativo all'area di riferimento) hanno un consumo di suolo caratterizzato da prati, zone agricole eterogenee e colture permanenti, mentre più rari sono i dissesti caratterizzanti aree boschive o arbustive.



## 2.3 Vulnerabilità delle infrastrutture presenti

Nel primo capitolo sono state riportate le conseguenze sul territorio dovute agli eventi descritti, quindi si possono notare la vulnerabilità e la difficoltà nel salvaguardare le infrastrutture dei centri abitati. In particolare, si fa riferimento alle vie di comunicazione e alle linee dei servizi primari, dette *lifelines*.

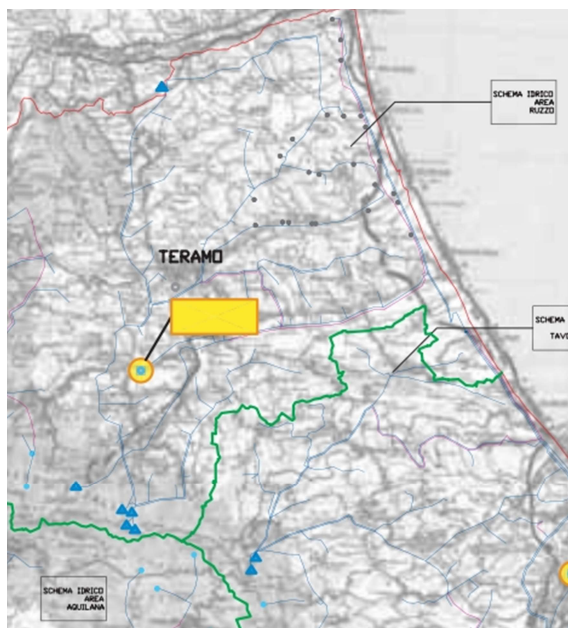
Nell'analisi dei dati effettuata da APAT nel 2005, si classificano gli elementi danneggiati dalle frane:



Risulta evidente l'elevata esposizione al rischio del terreno agricolo, essendo esteso sul territorio, le strade, i corsi d'acqua e direttamente i centri abitati.

Un esempio di danno alle *lifelines* è l'interruzione di acqua potabile al centro di Città Sant'Angelo, dovuta alla rottura di un condotto idrico in zona Villa San Romualdo, a causa delle frane avvenute per maltempo nell'evento dell'inverno 2017.

Dallo schema degli acquedotti abruzzesi, si nota chiaramente la distribuzione di acqua potabile sul territorio, dalle montagne appenniniche alle valli dell'area pedemontana e collinare, fino alla costa. Una costante attività di protezione della rete risulta fondamentale per evitare interruzioni nei centri abitati, in particolar modo in stato di emergenza ed isolamento come quello registrato.



Nell'immagine sono evidenti le divisioni di competenze delle sorgenti idriche, in particolare quella del Gran Sasso, al servizio della provincia teramana e della parte settentrionale relativa al pescarese, e quella della Maiella al servizio della parte meridionale della regione. La rete è caratterizzata dal diramarsi di condotte e nodi, nel caso in cui si registrasse una rottura in un punto dell'acquedotto, è evidente come tutto il territorio servito a valle ne risentirebbe.

Oltre alla rete idrica, un altro genere di lifeline è rappresentato dal collegamento elettrico, quindi il servizio d'illuminazione ed energetico del centro abitato. Attualmente la maggior parte dei collegamenti elettrici è composto dai cavi aerei tra pali, quindi notevolmente esposti alle intemperie atmosferiche. I black-out registrati nell'emergenza maltempo sono dovuti proprio alla rottura della rete a causa della precipitazioni, dei fulmini e della caduta di alberi; in un'area di frana questi sono oggetto a guasti diretti, senza la possibilità di essere riparati immediatamente dagli enti competenti.



<sup>10</sup> Immagine di repertorio del sito d'informazione pubblica "ZonaLocale" di Casalbordino (CH) in occasione del conteggio dei danni causati dal maltempo il 18 gennaio 2017.



È evidente la pericolosità in caso di danneggiamento di un gasdotto (o metanodotto) ad opera di una frana: il tipico odore di gas che si sprigiona dalle tubazioni è solo il preludio di quello che è il reale rischio di esplosione improvvisa per la saturazione dell'aria.

Per ridurre questi rischi è necessaria una continua opera di manutenzione sull'intera rete di servizi idrici, energetici e di qualsiasi carattere primario per la popolazione, ma a quale costo? L'idea di Smart-City attuale prevede notevoli passi avanti in campo economico e di sostenibilità ambientale, la rottura di una componente dei servizi per i cittadini gestita dall'amministrazione è certamente un'ulteriore spesa, nonché disagio, per la comunità locale. Nella ricostruzione del centro storico de L'Aquila l'elemento chiave è la modernizzazione della rete di servizi tramite la messa in opera di uno Smart-Tunnel<sup>11</sup>, in cui questi sono posizionati in appositi vani del tunnel percorribile a piedi dai tecnici. Quindi, in caso di guasti e/o di interventi di manutenzione, è semplice individuare il problema ed intervenire. Chiaramente in caso di maltempo, il tunnel è in grado di proteggere tutta la rete contenuta evitando danneggiamenti con conseguente interruzione dei servizi alla popolazione.



<sup>11</sup> Lo Smart-Tunnel dei sottoservizi del centro storico: <http://www.sottoserviziaq.it/>

## 2.4 Gestione dell'emergenza: dopo l'evento

A seguito di un evento di frana o la registrazione di forte rischio idrogeologico, gli enti competenti e la popolazione stessa devono essere in grado di reagire di conseguenza ed in maniera proporzionata.

In seguito a eventi meteo-idrologici avversi nell'anno 2012, la Protezione Civile ha redatto un documento informativo riguardo la gestione dello stato di emergenza chiamato "Indicazioni operative del Capo Dipartimento del 12 ottobre 2012 per prevedere, prevenire e fronteggiare eventuali situazioni di emergenza connesse a fenomeni idrogeologici e idraulici". È chiaro che la capacità di rispondere ad una situazione di crisi cresce ogni qualvolta che questa si presenta alla popolazione, ma risulta necessario cercare di prevedere i punti più sensibili e vulnerabili per evitare che questi subiscano gravi danni.

Alla luce delle conseguenze che si riportano, si evince lo stato di fragilità in cui il territorio nazionale riversa; si assiste con sempre maggiore frequenza ad un preoccupante e rapido susseguirsi di frane, inondazioni ed altri fenomeni di natura idrogeologica ed idraulica che causano al Paese una intollerabile perdita di vite umane nonché gravosi oneri economici e sociali. Nel testo si rileva l'importanza di questo aggiornamento amministrativo:

*"In tale contesto ed in relazione all'avvio della stagione autunnale e invernale, si ritiene opportuno rivolgere alle Amministrazioni in indirizzo alcune indicazioni operative finalizzate alla previsione, prevenzione e contrasto dei predetti fenomeni idrogeologici ed idraulici, che tengano conto non solo delle esperienze maturate negli anni precedenti, ma anche delle innovazioni normative e istituzionali scaturite dalla recente riforma del Servizio nazionale della protezione civile, di cui al d.l. 59/2012, convertito, con modificazioni, dalla legge 100/2012. Come noto, tale disposizione normativa ha ridefinito e precisato gli ambiti di competenza del Sistema nazionale di protezione civile, nel più ampio contesto di una politica integrata volta a prevedere, prevenire, mitigare e fronteggiare le conseguenze delle calamità naturali o antropiche, che vede attivamente coinvolti diversi attori istituzionali."*

Quindi si dà un ruolo di maggior rilievo al processo di mitigazione e prevenzione del rischio idrogeologico, affermando l'autonomia dei Centri Funzionali<sup>12</sup> nel territorio al fine di raccogliere ed elaborare i dati ambientali in maniera più specifica e precisa.

Strumenti fondamentali a disposizione delle Autorità di protezione civile sono i piani di emergenza comunali e provinciali, utili ad individuare la strategia migliore per fronteggiare gli eventi in atto, prevedibili e non, in modo coordinato. Si individuano un'area di raccolta delle forze in campo e le relative aree sicure in funzione del tipo di emergenza e del territorio, in cui

---

<sup>12</sup> Ogni Centro funzionale svolge attività di previsione, monitoraggio e sorveglianza in tempo reale dei fenomeni meteorologici con la conseguente valutazione degli effetti previsti su persone e cose in un determinato territorio, concorrendo, insieme al Dipartimento della Protezione civile e alle Regioni, alla gestione del Sistema di allertamento nazionale.

far evacuare la popolazione locale e garantire l'immediato soccorso. Il piano di emergenza deve essere aggiornato regolarmente in base all'evoluzione demografica e urbanistica del territorio stesso, oltre che alle risorse disponibili in fase di allerta. Nel documento si legge l'importanza del corretto funzionamento dell'amministrazione locale:

*“E' inoltre sempre più evidente la necessità di prevedere, nell'ambito della pianificazione di emergenza, l'attivazione di presidi territoriali che hanno compiti di vigilanza ed intervento tecnico, in particolare durante fasi temporalesche intense, svolgendo altresì un prezioso ruolo di supporto tecnico al Sindaco per l'attuazione di misure a salvaguardia della pubblica e privata incolumità.”*

Infine, si discute sulla necessità di avere a disposizione forze di volontariato in fase di emergenza in corso e dopo l'evento; a tal riguardo, si propone un'attività conoscitiva da parte della popolazione per prendere coscienza del proprio territorio e degli eventuali rischi in ogni caso estremo. Questo favorisce una reazione immediata più cosciente ed efficace, oltre che un numero crescente di attività di volontariato sul campo ben coordinato dagli enti superiori.

Un nuovo documento redatto dal CNR<sup>13</sup> da parte di Giovanni Gullà, analizza la situazione in Calabria con lo scopo di generalizzare l'approccio all'emergenza in ambito nazionale, traendo i migliori risultati in termini di prevenzione dei movimenti in massa tramite una gestione efficace e sostenibile delle emergenze stesse. Le frane e le instabilità dei versanti contribuiscono ai processi geologici consentendo l'evoluzione del Pianeta; i fattori che predispongono questi movimenti variano nel tempo insieme alle forze climatiche, causa principale dell'innescò di frane. Quindi si richiama ad una maggiore coscienza del movimento di massa per individuare le migliori strategie di prevenzione del rischio e la definizione degli interventi sull'area interessata. L'approccio al problema è quello di catalogare le frane su un territorio di analisi in termini di pericolosità e programmare gli interventi strutturali e non strutturali dove è necessario, prediligendo i casi di maggior criticità.

È importante archiviare i risultati del monitoraggio in sito, perché altri eventi potrebbero farne riferimento se sono di stessa natura, favorendo il compito degli enti addetti alla risposta immediata della crisi.

Dal testo di Gullà è necessario citare alcune righe di importanza sociale per la relazione tra l'uomo e le frane:

*“E' dunque ragionevole assumere che le emergenze sono una componente del percorso ordinario che è necessario sviluppare con continuità per gestire efficacemente le stesse emergenze e per utilizzarle al fine di migliorare le capacità di definizione del quadro conoscitivo, indispensabile per precisare ed affinare la pianificazione e la programmazione*

<sup>13</sup> CNR: Consiglio Nazionale delle Ricerche

*degli interventi (area vasta) e per rendere più efficace e sostenibile in termini finanziari la progettazione, realizzazione e gestione degli stessi interventi (singolo versante).”*

Si sottolinea nuovamente l'importanza di prendere piena coscienza del territorio in cui si vive e il relativo rischio idrogeologico, al fine di rispondere alla crisi in maniera efficace oltre che tempestiva. In tal proposito si sfruttano leve solide e potenti quali:

- La consapevolezza della comunità;
- L'impegno della classe politica;
- La responsabilità e le competenze delle istituzioni scientifiche, tecniche ed amministrative;
- La semplificazione delle procedure tecniche e burocratiche da seguire;
- Le sinergie da attivare fra istituzioni e soggetti interessati.

## 2.5 Rilievo fotografico

In data 20 luglio 2017, è stato fatto il rilievo fotografico in sito delle frane di Castelnuovo, Ponzano e Casoli, quindi nei tre maggiori casi di crolli della provincia teramana durante l'inverno 2017 precedentemente descritto. Si è presa in considerazione l'importanza storica e monumentali di queste aree e valutato quanto determinati punti chiave fossero a rischio danneggiamento. Dalle immagini si noterà chiaramente quanto le frane presentate interessino in primo luogo il centro abitato, con la viabilità locale e le abitazioni vicine. Una nota aggiuntiva è data dalla posizione delle frane studiate: tutte sono rivolte sul versante meridionale dell'altura in cui si sviluppano.

In località Castelnuovo di Campoli, in via Fuori Porta Orientale, sono resi inagibili le sei abitazioni direttamente interessate dalla frana, ben riconoscibili anche dalla foto aerea catturata dal servizio online di Google Maps.





Dal sopralluogo è evidente quanto la soglia della frana sia vicina agli edifici esistenti, in particolare all'attività commerciale adiacente alle abitazioni. Attualmente il dissesto ha uno stato di quiescenza, ma durante gli eventi è chiara la vulnerabilità di questi edifici. Anche se non colpita direttamente, l'area rimane tutt'ora interdetta e inefficiente, quindi si registra una grave perdita socio-economica per il centro abitato, in particolare per chi vi risiedeva.

In località Ponzano, frazione del noto comune di Civitella del Tronto situato sulla Strada Provinciale 8 in direzione della costa, il rilievo fotografico si è concentrato sull'area a Nord della frana. Si evince che la tipologia di dissesto è lo scivolamento di una grande porzione di terreno, colpendo direttamente le abitazioni presenti, con la conseguente chiusura di molte delle vie di comunicazione.



A differenza del dissesto precedentemente descritto, in Ponzano si registrano edifici abitativi direttamente interessati essendo situati all'interno del corpo di frana. Si rileva una vasta area caratterizzata da terreni agricoli, abitazioni e strade, tutti elementi danneggiati e chiusi al transito del pubblico. Quindi è chiaro il danno economico per i proprietari dei lotti, oltre che grande il disagio dell'intera

popolazione nel trovarsi sulla soglia di una massa di tale dimensione in movimento verso valle.



Infine, nella frazione di Casoli di Atri, situata lungo la Strada Provinciale 23 in direzione Roseto parallela alla valle del Vomano, il rilievo è risultato ben più difficoltoso nella localizzazione del corpo di frana. Questo perché si nasconde nella fitta vegetazione e nel versante dedicato all'agricoltura locale.



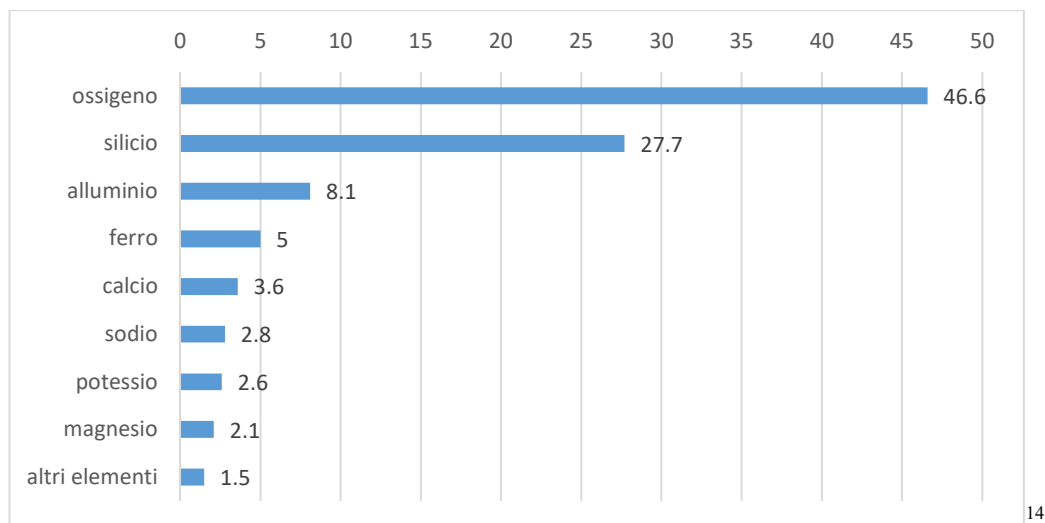
Il dissesto interessa la viabilità locale principale, gli edifici sviluppati a monte e adiacenti alla strada, nondimeno gli edifici e la viabilità secondaria posti a valle della massa. Dalle foto si evidenzia la pericolosità degli edifici, oltre che valutare il danno sull'agricoltura locale essendo terreni abbandonati successivamente allo smottamento.



### 3. Introduzione teorica

Le particelle che compongono i terreni sono libere di muoversi relativamente tra loro e, quando un elemento di terreno si sposta, la deformazione è il risultato di uno scorrimento relativo tra le particelle. Il comportamento meccanico sarà marcatamente non lineare ed irreversibile. I vuoti tra le particelle sono solitamente riempiti da acqua o da più fluidi, con la conseguenza che i terreni sono mezzi porosi con un comportamento dipendente dall'intersezione tra la fase solida e le fasi fluide. Sono oggetto di indagine i parametri fondamentali quali resistenza, compressibilità, rigidezza e la permeabilità. Le principali proprietà indice delle particelle sono costituite dalla dimensione, forma e mineralogia; le proprietà indice di un aggregato di particelle sono rappresentate dal grado di addensamento e dai limiti di consistenza.

La crosta continentale è composta da 8 elementi principali così distribuiti:



I materiali che compongono le rocce sono principalmente una combinazione di questi elementi e, poiché l'ossigeno e il silicio sono i più abbondanti, i silicati risultano i minerali prevalenti con circa il 95% della crosta terrestre. Tra i minerali non silicatici, vanno ricordati la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) e la dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), componenti essenziali delle rocce carbonatiche. I processi chimici consistono nella reazione di minerali costituenti la crosta terrestre con l'acqua, l'ossigeno e gli acidi organici e dipendono dalla presenza di acqua; tra i silicati, il quarzo e la muscovite sono minerali resistenti, mentre i feldspati sono sensibili all'alterazione chimica, dando origine ai minerali argillosi.

In base ai parametri utilizzati di dimensione, forma e composizione mineralogica delle particelle, si classificano terreni a grana grossa e terreni a grana fine. Tramite l'analisi granulometrica si definisce una distribuzione di frequenza delle dimensioni delle particelle,

<sup>14</sup> Da "Geotecnica" di R. Lancellotta, capitolo 1.1 l'origine dei terreni naturali

procedura costituita da vagliatura meccanica per terre a grana grossa, da aerometria per terre a grana fine. In base all'intervallo della dimensione del diametro si classificano:

- Argilla fino a 0,002 mm,
- Limo da 0,002 mm a 0,06 mm,
- Sabbia da 0,06 mm a 2 mm,
- Ghiaia da 2 mm a 60 mm,
- Ciottoli da 60 mm in su.

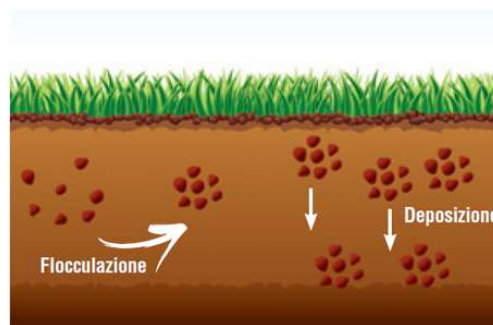
A loro volta descritti come fine, medio o grosso. Dalla curva granulometrica è possibile definire un terreno ben assortito, se sono presenti tutte le frazioni su un ampio campo, poco assortito se ha un eccesso o mancanza di determinati diametri; questa analisi viene svolta attraverso il coefficiente di uniformità:  $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  ovvero il rapporto tra diametro passante per il 60% e quello passante per il 10% del campione.

In particolare si analizzano le caratteristiche di un terreno argilloso, esso può contenere poco più di un 10% di particelle argillose, ma è così definito in quanto la frazione ne condiziona il comportamento di insieme.

I reticoli argillosi sono caratterizzati da reticoli piani, le forze di attrazione risultano piuttosto basse e conseguentemente le particelle hanno forma appiattita, presentando una carica negativa sulla superficie. Questo condiziona l'interazione con le altre particelle, le molecole dell'acqua tendono ad essere attratte da tale superficie essendo molecole dipolari, subiscono un iso-orientamento e risultano così legate alla superficie della particella da non poter essere separate tramite azione meccanica di modesta entità. A queste molecole si dà il nome di acqua adsorbita, considerate come parte integrante della struttura della particella argillosa. Il termine di acqua interstiziale fa riferimento all'acqua presente nei pori, libera di muoversi sotto l'azione di un gradiente idraulico.

Se la deposizione avviene in acqua salmastra, data la forte concentrazione elettrolitica, si ha prevalenza di forze attrattive, per cui le particelle tendono ad aggregarsi tra loro, dando origine alla microstruttura a flocculi. E, poiché questi hanno una dimensione maggiore di quella delle singole particelle, essi sedimentano più rapidamente e talora insieme a particelle limose. Nella sedimentazione in acqua

dolce prevalgono le forze repulsive, data la bassa concentrazione elettrolitica, per cui le particelle tendono a mantenersi separate tra loro, formando una microstruttura dispersa.





### 3.1 Principio degli sforzi efficaci

Benché i terreni siano mezzi particellari, l'approccio usato per descriverne e predirne il comportamento meccanico li assimila a un mezzo continuo, se si è in presenza di una sola fase, o a continui sovrapposti, nel caso siano presenti due o più fasi.

Le due fasi in questione esibiscono un comportamento differente, osservando che la fase fluida non sopporta sforzi di taglio, ha una compressibilità significativamente diversa da quella della fase solida e può muoversi attraverso i pori interstiziali; mentre la fase solida è in grado di sopportare sforzi di taglio e conferisce resistenza e rigidità al mezzo poroso.

La definizione di Sforzi Efficaci è contenuta implicitamente nella relazione che esprime la variazione di volume del campione di terreno nel corso di una prova di compressione in condizioni monodimensionali:

*“Lo stato di tensione in un punto può essere definito tramite la conoscenza delle tre tensioni principali totali  $\sigma_I$ ,  $\sigma_{II}$ ,  $\sigma_{III}$ . Se lo spazio intergranulare è riempito con acqua avente pressione  $u$ , le tensioni totali possono scomporsi in due parti. Una di esse, chiamata pressione neutra  $u$ , agisce sull'acqua e sui grani in ogni direzione con uguali intensità. [...] Di conseguenza ogni indagine di stabilità di un mezzo saturo richiede la conoscenza sia delle tensioni totali sia delle pressioni neutre.”*

(Terzaghi, 1936 nel primo Congresso Internazionale di Meccanica delle Terre)

Le componenti normali di tensione sono decomposte nella pressione dell'acqua e nella restata aliquota di tensione normale che compete alla fase solida, detta tensione efficace, da cui dipende la risposta meccanica di un elemento di terra.  $\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} - u \delta_{ij}$

Le tensioni totali sono le tensioni che soddisfano le condizioni di equilibrio e sono ripartite tra la fase solida e la fase fluida.

La natura particellare dei terreni si traduce in un comportamento anelastico e anisotropo, quindi bisogna identificare in ogni punto le componenti di tensione dovute al proprio peso di terreno. Si definiscono  $\sigma_{v0}$  e  $\sigma_{h0}$  rispettivamente la tensione geostatica verticale totale e tensione geostatica orizzontale totale.

La tensione verticale totale è il prodotto tra il peso specifico e la profondità:  $\sigma_{v0} = \gamma z$

La tensione orizzontale efficace è data dal prodotto  $\sigma'_{h0} = K_0 \sigma'_{v0}$ ; nella quale il coefficiente  $K_0$  è detto coefficiente di spinta a riposo (o rapporto tra le tensioni efficaci) ed è legato alla storia del deposito.

Un mezzo elastico lineare isotropo è caratterizzato da una risposta disaccoppiata, ovvero le variazioni di volume  $\varepsilon_v$  sono associate solo alla componente isotropa  $p'$  dello sforzo, mentre le variazioni di forma dipendono solo dal deviatore  $q$ .

Il legame costitutivo diventa: 
$$\begin{pmatrix} \delta \varepsilon_v^e \\ \delta \varepsilon_s^e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{K} & 0 \\ 0 & \frac{c}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta p' \\ \delta q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta p' \\ \delta q \end{pmatrix} \quad \text{considerati il}$$

modulo di deformazione volumetrica  $\mathbf{K}$  ed il modulo di taglio  $\mathbf{G}$ , oppure costanti generiche  $\mathbf{C}_{ij}$ .

Nell'ipotesi che il mezzo sia saturo, in presenza di un percorso di sollecitazione in condizioni non drenate, l'assenza di variazione di volume comporta: 
$$\delta \varepsilon_v = C_{11} \delta p' + C_{12} \delta q = 0$$

La relazione  $\delta u = \delta p + a \delta q$  consente di correlare le variazioni di pressione interstiziale alle variazioni di tensione totale, dimostrando che nel caso di un mezzo elastico lineare isotropo essa è pari all'incremento della tensione media totale.

Skempton propone la formula di correlazione nel 1954:  $\delta u = B[\delta \sigma_3 + A(\delta \sigma_1 - \delta \sigma_3)]$

nei quali i parametri delle pressioni interstiziali dipendono dalla storia ( $A = a + 1/3$ ) e dal grado di saturazione ( $0 < B < 1$ ).

### 3.1.1 Influenza della pressione neutra interstiziale

La presenza di tensioni interstiziali risulta fondamentale nell'analisi degli sforzi di taglio, dove la formula linearizzata è:  $\tau = c' + \sigma' \tan \varphi'$ , caratterizzata dalla coesione e dal contributo "attritivo" efficace.

I problemi in meccanica delle terre sono detti "problemi accoppiati" perché richiedono la contemporanea descrizione del campo di moto dell'acqua interstiziale e del campo deformativo della fase solida. Esistono due circostanze in cui si può evitare il problema accoppiato, corrispondenti a due configurazioni estreme definite condizioni drenate e non drenate. Per la prima si intende la condizioni in cui, in ogni punto di un volume di terra, ossia localmente, la variazione delle tensioni efficaci coincide con la variazione delle tensioni totali.

Nei terreni a grana grossa, con elevata conducibilità idraulica, le condizioni drenate sono sempre soddisfatte in problemi statici dato che un eventuale moto transitorio dell'acqua avviene in tempi brevissimi. Nei terreni a grana fine, con bassa conducibilità idraulica, se la velocità di applicazione del carico è lenta si parla di condizioni drenate soddisfatte, ma se la velocità è elevata rispetto al moto di filtrazione si parla di condizioni non drenate. Quindi per condizione non drenata si intende la circostanza in cui, localmente, l'elemento di volume non scambia massa d'acqua con l'esterno, restando all'interno dei pori.

L'assenza di variazione di volume costituisce un vincolo interno generando una sovrappressione interstiziale, che rende le tensioni efficaci non più coincidenti alle tensioni totali.

Nelle sabbie l'aspetto peculiare che caratterizza il comportamento meccanico è costituito dal fatto che essi manifestano un cambio di volume durante la fase di taglio, proprietà definita *dilatanza* da Osborne Reynolds nel 1885, descritta sperimentalmente da una membrana a forma

di ampolla con sabbia densa, sollecitata, il cui livello dell'acqua nella pipetta ad essa collegata si abbassa a causa dell'aumento dell'indice dei vuoti.

La frazione  $\sigma'_1/\sigma'_3$  può interpretarsi come un rapporto di mobilitazione della resistenza al taglio, quindi risulta conveniente analizzare i risultati riportando tale rapporto in funzione della deformazione assiale. In un campione di sabbia sciolta si può osservare un comportamento duttile, con tendenza ad una condizione stazionaria; un campione di sabbia addensata presenta uno scioglimento fino alla stessa condizione stazionaria. Questa è detta *condizione ultima*, raggiunta la quale le distorsioni del campione avvengono senza variazioni di volume e di tensioni efficaci. Il corrispondente indice dei vuoti è definito indice dei vuoti critico da Casagrande nel 1936 e lo stato corrispondente è detto stato critico da Scholfield e Wroth nel 1968 come condizione stazionaria. Infine si definisce *resistenza di picco* la somma della resistenza di stato critico e del contributo della dilatanza.

Nelle argille tenere si mostra l'unicità del luogo dei punti a rottura e la sua dipendenza dalle condizioni di prova, in base se queste sono drenate o non drenate.

Le prove consolidate-drenate (prova CD) hanno una prima fase in cui il campione è riconsolidato tramite l'applicazione di uno stato di sforzo isotropo o anisotropo, una seconda fase nel corso della quale lo sforzo deviatorico è applicato così lentamente da evitare l'insorgere di sovrappressioni interstiziali. Si evince un comportamento duttile tipico per le argille normal-consolidate (NC) con una crescita monotona tendente a una condizione stazionaria con assenza di variazioni di sforzi e di volume. Una proprietà fondamentale delle argille tenere è il fatto che i punti rappresentativi delle condizioni di rottura appartengono tutti ad una stessa linea del piano  $(p', q)$  e a una stessa curva nel piano di compressione  $(p', v)$ .

Le prove consolidate-non drenate (prova CU) hanno la prima fase di consolidazione analoga alla prova drenata, ma una seconda fase in cui lo sforzo deviatorico è applicato mantenendo il drenaggio chiuso. Questo comporta l'insorgere di una sovrappressione interstiziale positiva, quindi i percorsi di carico totale ed efficaci risultano distinti e distanti tra loro, di una quantità pari alla sovrappressione interstiziale.

Nelle prove in sito risulta difficoltoso conoscere le sovrappressioni interstiziali che si sviluppano durante il percorso di sollecitazione, poiché l'entità delle sovrappressioni interstiziali indotte dai carichi dipende dalle caratteristiche micro e macrostrutturali del deposito, dallo sviluppo delle zone di plasticizzazione e dal comportamento anisotropo del mezzo.

Si prevede una prova non consolidata-non drenata (prova UU o quick test) composta da una prima fase in cui avviene l'applicazione di una pressione in cella a drenaggio chiuso e una seconda fase con applicazione dello sforzo deviatorico sempre a drenaggio chiuso. Le evidenze sperimentali dimostrano che lo sforzo deviatorico a rottura risulta lo stesso per tutti i campioni,

quindi indipendente dallo stato delle tensioni totale, delineando una retta orizzontale sul piano  $(\sigma, \tau)$  definita dalla resistenza non drenata:  $\tau_f = s_u$

Poiché la resistenza non drenata è l'espressione di un comportamento e non è una proprietà, c'è da attendersi una sua dipendenza da tipo di prova. Una relazione empirica è suggerita da Koutsoftas e Ladd nel 1985:  $\frac{s_u}{\sigma'_{v0}} = (0,22 \pm 0,03) OCR^{0,8}$ .

La presenza di fessure e discontinuità rende poco significativi i risultati ottenuti in laboratorio su provini di piccole dimensioni, inoltre i meccanismi corrispondono sovente a fenomeni di rottura localizzati lungo le discontinuità, che per loro natura possono consentire un parziale drenaggio anche in tempi brevi. Ma questi materiali presentano resistenze elevate da rendere in generale poco rilevanti i problemi di stabilità a breve termine.

### 3.2 Cos'è una frana

Una frana è definita come un processo naturale di rischio geomorfologico ed idraulico, un fenomeno ordinario ed estremamente frequente. La passata attività ha contribuito a modellare l'aspetto del territorio nelle forme che conosciamo oggi. È parte di un naturale processo evolutivo del territorio che può provocare danni consistenti alle infrastrutture ed agli insediamenti antropici che ne sono coinvolti e, quando è caratterizzato da modalità di accadimento piuttosto rapido, può mettere a rischio anche l'incolumità delle persone. Molto spesso, modalità inappropriate di utilizzo e gestione del territorio sono all'origine dell'amplificazione dei dissesti in atto o dell'innescio di nuovi, considerando anche il fenomeno equivalentemente pericoloso di inondazione.

Una frana può definirsi come un movimento di una massa di roccia, terra o detrito, sottoposta alla forza di gravità, lungo un versante, a causa della rottura dell'equilibrio statico preesistente. L'esperto F. Guzzetti del CNR-IRPI espone, in un incontro formativo tenutosi nel GSSI<sup>15</sup> de L'Aquila, le diverse tipologie di frana, definendole in funzione della forma, del volume di massa, della velocità di evoluzione e del moto come:

- Caduta di massi,
- Frane per scorrimento,
- Valanga di roccia,
- Colata di terra,
- Scivolamento del terreno superficiale,
- Colata di detrito.

<sup>15</sup> GSSI: Gran Sasso Science Institute, centro di ricerca di fisica in viale Crispi, 7 a L'Aquila.

Si verificano principalmente per una serie di cause di carattere naturale cui si aggiunge l'azione dell'uomo che altera gli equilibri naturali. Da un punto di vista morfologico, nelle frane si distinguono tre zone:

- La zona o nicchia di distacco, luogo più elevato dell'area in frana, dove si trova la superficie di rottura/distacco;
- La zona di scorrimento, luogo di transito del materiale;
- La zona di accumulo, parte inferiore dell'area di frana, dove cessa il movimento.

L'effetto dannoso delle frane e delle inondazioni è comunemente sintetizzato nel termine dissesto idrogeologico, cui è soggetta una certa porzione di territorio. L'idrogeologia è quella parte dell'idrologia che si occupa dell'analisi delle caratteristiche quali-quantitative, della distribuzione e dei movimenti delle acque sotterranee, direttamente relazionate con la precipitazione delle acque meteoriche all'interno dei suoli e delle rocce della crosta terrestre.

Il *rischio* è percepito come una combinazione delle eventualità che si verifichi una situazione sfavorevole con le conseguenze più o meno gravi che questo potrà causare. La definizione del rischio è legata a due concetti fondamentali:

- Il *pericolo*, definito come la proprietà intrinseca di un dato fenomeno che presenta il potenziale a fare danni. Ne consegue che il rischio può essere inteso come la probabilità che una situazione di pericolo si concretizzi in danno. È una variabile dipendente contemporaneamente dagli elementi probabilità e danno.
- La gestione e valutazione del rischio, insieme delle operazioni analitiche richieste per individuare i rischi nonché le misure preventive e protettive necessarie per eliminarlo o ridurlo. Il rischio esprime il numero atteso di perdite di vite umane, di feriti, di danni a proprietà, di distruzione di attività economiche o di risorse naturali, dovuti ad un particolare evento dannoso.

Vale quindi la relazione:  $\text{Rischio} = \text{pericolosità} \times \text{vulnerabilità} \times \text{valore}$

La *pericolosità* è intesa come la probabilità che in una zona si verifichi un potenziale evento dannoso con una certa intensità entro un dato periodo di tempo, funzione della frequenza dell'evento.

La *vulnerabilità* è una misura della propensione di ciascun elemento a subire danni in occasione del manifestarsi di un evento di una certa intensità, fornisce una misura del legame tra intensità di un certo evento su un predefinito sistema territoriale ed entità dei danni potenziali sul sistema stesso.

Il *valore* si riferisce all'elemento che deve sopportare l'evento, può essere espresso dal numero di presenze umane, o dal valore economico di una proprietà, o dalle capacità produttiva, o da una risorsa naturale utilizzata o utilizzabile dalla società umana, esposti a un determinato pericolo.

L'aggravarsi degli eventi calamitosi e l'incremento della loro frequenza è da attribuire all'interconnessione tra i processi naturali e l'antropizzazione, che ha sicuramente messo ulteriormente in evidenza la fragilità del territorio italiano, aumentando l'esposizione ai fenomeni e quindi il rischio stesso.

L'inurbamento e l'antropizzazione pervasiva, anche nei territori più fragili, hanno influito fortemente sull'aumento della pericolosità dei fenomeni geomorfologici e idraulici. Si aggiunge l'incremento della frequenza degli eventi estremi, tra cui quelli pluviometrici, registrato negli ultimi decenni e legato alle dinamiche di cambiamento del clima. L'aumento della temperatura atmosferica e delle acque marine si accompagna alle nostre latitudini ad una concentrazione delle precipitazioni in un numero di eventi sempre minore ma dall'intensità maggiore. Tali dinamiche si riflettono in un notevole aumento della pericolosità dei fenomeni legate alle dinamiche atmosferiche e, in particolare, dei danni prodotti da frane superficiali e inondazioni improvvise.

Una frana avviene quando all'interno del substrato roccioso o della copertura superficiale di suolo si produce una rottura secondo una superficie più o meno regolare. Lo sviluppo della superficie di rottura indica che gli sforzi agenti, costituiti dalla forza di gravità che tende a far muovere la massa verso il basso, sono maggiori degli sforzi reagenti, costituiti dagli attriti all'interno del materiale che invece tendono a bloccarla.

I fattori che determinano una maggiore o minore predisposizione allo sviluppo di frane possono essere classificati come:

- Naturali immutabili nel tempo, caratteristiche litologiche del substrato roccioso o del suolo, morfologiche e idrogeologiche;
- Naturali variabili, caratteristiche della copertura superficiale, modificazioni morfologiche connesse con altri processi morfologici e processi di dissoluzione chimica delle rocce e dei suoli;
- Antropici, azioni che incrementano gli sforzi tangenziali e variazioni di uso di suolo;
- Scatenanti, precipitazioni e la loro distribuzione spazio-temporale, modificazioni morfologiche all'insorgere di altri processi morfologici, attività sismica o vulcanica, esplosioni e sovraccarico dovuto alle infrastrutture.

### 3.3 Cause delle frane

Come già accennato, le principali cause dell'attivazione di una frana sono caratterizzate da fattori naturali o antropici, suddivisi in quattro grandi categorie:

- Fattori geologici-geotecnici
- Fattori morfologici
- Fattori meteoroclimatici
- Fattori antropici

I fattori geologici sono tipici di instabilità del materiale interessato; i morfologici interessano la forma, la posizione, la geometria e la dinamica evolutiva principalmente sulla superficie del versante; i meteoroclimatici sono rappresentati dalle condizioni climatiche a cui è esposto il versante; infine il fattore antropico è in relazione diretta con le azioni umane.

Si analizza il fattore meteoroclimatico come causa principale dell'attivazione di una frana, perché descrive il comportamento del terreno a seguito della saturazione di acqua piovana, quindi aumento delle pressioni neutre. Il *Fattore di Sicurezza* che se ne studia rispecchia direttamente questo fenomeno, essendo il rapporto tra gli sforzi di taglio resistenti e sforzi di taglio agenti:

$$FS = \frac{c' + (\sigma - u) \tan \varphi'}{\tau}$$

All'aumentare dei valori di “u”, gli sforzi di taglio resistenti diminuiscono, abbassando il valore del Fattore di Sicurezza. Le frane si innescano allorquando il terreno ha raggiunto un grado di saturazione che può essere considerato “critico”, o Valore di Soglia.

Il livello di saturazione del terreno, causa dell'aumento delle pressioni neutre, può incrementare eccessivamente a causa di precipitazioni pluviali eccezionali o rapido scioglimento della coperture crio-niviale. In taluni casi, la relazione di causa-effetto dell'innescò è in grado di autoaccelerare i fenomeni di instabilità, con reazioni a catena.

È evidente come la risposta dell'ambiente fisico alle precipitazioni è diretta e conseguente, con tempi e tipologie di dissesto che dipendono da molteplici fattori geologico-geomorfologici.

#### 3.3.1 Modelli di relazione analitica pioggia – frana

Si analizza a livello teorico la relazione tra la quantità di pioggia caduta in una determinata precipitazione, con la possibilità che avvenga un dissesto idrogeologico, secondo alcuni modelli che si sono evoluti nella storia.

Zaruba, nel 1936, determina che le piogge brevi e intense favoriscono l'innescò di instabilità corticali o superficiali, mentre le piogge prolungate a carattere stagionale favoriscono l'innescò e/o la riattivazione di frane profonde.

I modelli idrologici, correlanti parametri pluviometrici a fenomeni di instabilità, sostituiscono i modelli matematici o fisici più complessi e maggiormente aleatori. Si determinano le "soglie" pluviometriche oltre le quali si innesca il fenomeno, denotando un approccio prevalentemente empirico-fenomenologico e finalizzato alla determinazione di formulazioni correlative di rapida applicazione.

Secondo una recensione di Cascini & Versace del 1986, si elencano i modelli in ordine cronologico<sup>16</sup>:

- Modello Giudicini & Iwasa, 1977, per ambienti tropicali del Sud-America;
- Modello Fukuoka, 1980, per un'area del Giappone in cui:
  - $n > 10$  frane/km<sup>2</sup>,  $I = 62 - 0,10 P_p$  (con  $P_p =$  da 40 a 380 mm)
  - $n > 5$  frane/km<sup>2</sup>,  $I = 34 - 0,14 P_p$  (con  $P_p =$  da 30 a 210 mm)
  - $n > 1$  frana/km<sup>2</sup>,  $I = 19 - 0,10 P_p$  (con  $P_p =$  da 10 a 140 mm)
- Modello Crozier & Eyles, 1980, per la Nuova Zelanda
  - Innesco al 100% per  $I = 60 - 0,64 P_p$  (con  $P_p =$  fino a 94 mm)
- Modello Cancelli & Nova, 1985, per aree alpine
  - $\log(I) = 1,65 - 0,78 \log(D)$
- Modello Wieczorek, 1987, per la California
  - $I = \frac{9 + 1,7 D}{D}$ ,  $I =$  da 5 a 10 mm/h (con  $P_p =$  almeno 280 mm)
- Modello Nianxue & Zhuping, 1992 sulla base di pioggia totale caduta
  - $Q = 201,3 D^{0,297}$
- Modello Chleborad er Alii, 2006, per l'area ciclonica di Seattle
  - CT, cumulative rainfall thresholds (soglia di pioggia cumulativa)
  - $P_3 = 88,9 - 0,67 P_{15}$  (con  $P_{15}$  massimo 132 mm)
  - $P_3 =$  lineare (con  $P_{15}$  superiore a 132 mm)
- Modello Pizziolo et Alii, 2008, per l'area degli Appennini Settentrionali
  - La soglia ordinaria si ha per  $NPe = \frac{Pe}{h_{tot}} = \frac{9,67}{\sqrt{1 + 0,374 NPa}}$
  - La soglia moderata si ha per  $NPe = \frac{Pe}{h_{tot}} = \frac{14,49}{\sqrt{1 + 0,147 NPa}}$

<sup>16</sup> Simboli delle formule di pioggia:

$I =$  intensità di pioggia [mm/h];  $n =$  num frane per km<sup>2</sup>;  $P_p =$  pioggia totale cumulata precedentemente [mm];  $D =$  durata pioggia [h];  $Q =$  quantità cumulata di pioggia [mm];  $D =$  durata della pioggia continua [giorni];  $P_3 =$  pioggia cumulata gli ultimi 3 giorni [mm];  $P_{15} =$  pioggia cumulata i 15 giorni prima degli ultimi 3 [mm];  $NPe =$  pioggia d'evento normalizzata [%];  $NPa =$  pioggia antecedente normalizzata [%].



A questi modelli sempre più completi e sofisticati, si affianca il calcolo delle cosiddette Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica<sup>17</sup> (LSPP).

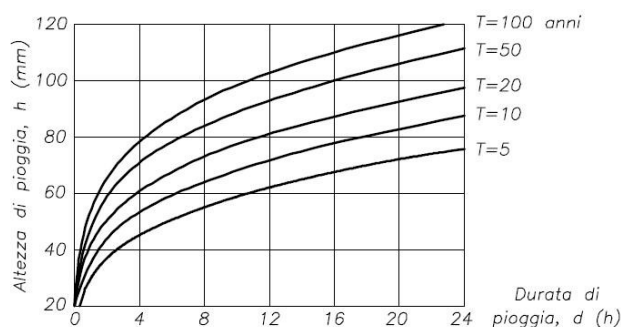
In conclusione si possono effettuare le osservazioni generali: i criteri idrologici forniscono indicazioni sulla ricorrenza e previsione temporale dei fenomeni di attivazione delle frane; la previsione ideale dovrebbe basarsi su soglie “tridimensionali” con assi individuati da intensità di pioggia scatenante  $I$ , sua durata  $D$  e cumulata della pioggia del periodo antecedente  $NPa$ ; le soglie dovrebbero essere differenziate per ambiente geologico-geomorfologico e per tipologia di terreno del fenomeno; l’applicabilità delle soglie idrologiche a piogge brevi e intense con LSPP permette un’analisi in grado di determinare i tempi di ritorno degli inneschi sulla base dei tempi di ritorno delle piogge critiche; l’efficacia delle soglie idrologiche a piogge prolungate dipende dalla capacità di “percepire” il livello di saturazione del versante durante il periodo antecedente l’evento di pioggia critica.

L’altezza di pioggia con caratteristiche di breve durata ed alta intensità è descritta con la formula monomia di Gumbel:  $h(D) = a \times D^n$  dedotta dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico Italiano per la stazione di riferimento appartenente alla rete di controllo regionale e/o nazionale.

Quindi si ha la correlazione dell’intensità di pioggia:  $I(D) = a \times D^{n-1}$

Tanto più cresce l’area del bacino, tanto meno è probabile che su tutto il suo sviluppo possano concentrarsi le massime altezze e intensità di precipitazione. Di conseguenza a questa dipendenza si introduce il coefficiente di ragguaglio  $R$  (o  $ARF$  Area Reduction Factor) in funzione al tempo di ritorno  $T$ , all’area del bacino  $A$  e alla durata  $D$ . Nel calcolo delle LSPP si ha un valore corretto di “ $n$ ” in funzione della variazione temporale del coefficiente di deflusso in favore di sicurezza:  $n_0 = 4/3 n$ ; quindi l’intensità sarà  $I(D) = a \times D^{n_0-1}$

La verifica della stabilità in relazione ad un determinato evento è data graficamente dalla curva LSPP, se questa si trova superiormente alla curva di soglia allora la probabilità di frana è molto elevata. Il grafico mette in rapporto i dati di intensità di pioggia [mm/h] con la durata di pioggia continua [h].



<sup>17</sup> LSPP: linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, è un criterio universalmente noto per la previsione delle intensità di pioggia sulla base dei dati pluviometrici ampiamente diffusi presso gli organi di controllo sul territorio.

### 3.4 Calcolo della stabilità

L'analisi delle condizioni di stabilità conduce ad esprimere uno o più parametri numerici in grado di rappresentare le condizioni di sicurezza statica del versante, nell'ambito delle condizioni intrinseche e al contorno che lo caratterizzano.

I metodi di calcolo si distinguono in:

- a. Limit Equilibrium Methods (LEM), analisi delle condizioni di equilibrio statico limite di uno o più corpi in cui la massa è scomposta, assumendola come infinitamente rigida, distinguendo metodi dei cunei e metodi dei conci;
- b. Finite Element Methods (FEM) o Finite Difference Methods (LDM), analisi numerica delle condizioni di equilibrio di celle elementari interconnesse da specifiche relazioni meccaniche funzionali.

Quasi tutte le normative tecniche internazionali riferiscono le analisi dei versanti principalmente ai metodi LEM.

#### 3.4.1 Metodi all'equilibrio limite

La perdita di stabilità avviene principalmente per scorrimento lungo una superficie effettiva o potenziale; si valuta secondo il Fattore di Sicurezza (FS), come rapporto tra la resistenza ultima al taglio e la resistenza mobilitata lungo la superficie di scorrimento. Il rapporto può essere effettuato in termini di *total stress approach* a breve termine in condizioni non drenate, oppure in termini di *effective stress approach* a lungo termine in condizioni drenate:

$$\left\{ \begin{array}{l} FS = \frac{\tau_f}{\tau_m} = \frac{C_u}{\tau_m} \\ FS = \frac{\tau_f}{\tau_m} = \frac{c' + (\sigma - u) \tan \varphi'}{\tau_m} \end{array} \right. ^{18}$$

L'approccio degli sforzi totali è da applicarsi a terreni argillosi o sabbiosi saturi sotto condizioni di carico veloci, l'approccio degli sforzi efficaci si applica laddove si prevede l'espulsione di acqua nei pori.

Il fattore di sicurezza si determina in termini di:

1. Forze di taglio resistenti e mobilitate totali  $FS = \frac{\tau_f}{\tau_m}$
2. Momenti resistenti e mobilitati totali  $FS = \frac{M_f}{M_m}$
3. Altezza critica e altezza del pendio  $FS = \frac{H_c}{H}$

<sup>18</sup> Un valore di FS>1 significa versante stabile; FS<1 significa che la rottura è altamente probabile.

Per i metodi LEM, il valore di FS è assunto costante lungo tutta la superficie di scorrimento; alcuni metodi tengono conto della variazione di FS lungo la superficie<sup>19</sup>.

Si sceglie il metodo di calcolo ipotizzando la forma della superficie di rottura in base alle caratteristiche stratigrafiche, giaciture e di anisotropia dei terreni costituenti il pendio.

### 3.4.2 Metodi dei cunei

La massa viene suddivisa in cunei da superfici inclinate, utilizzati nell'analisi di rilevati o dighe in materiali sciolti, in terreni con superfici di discontinuità pronunciate, raramente in pendii naturali o artificiali con terreni omogenei. La proprietà principale è la semplicità di elaborazione del calcolo, in origine grafico con il metodo dei vettori forza<sup>20</sup>.

Per terreni rocciosi si utilizza il metodo di Hoek & Bray, del 1977, applicabile in terreni coesivi tendono a formare i *tension crack*. Questo metodo è stato implementato per descrivere la posizione critica della tension crack nel caso si sia riempita d'acqua e nel caso in cui la superficie superiore sia inclinata.

Il metodo di Taylor, del 1948, è richiamato dalla normativa nazionale nella circolare ll.pp. n. 617 del 2009. Esso prevede il calcolo del fattore di sicurezza in termini di momenti, aggiungendo la spinta idrostatica dell'acqua nella tension crack:  $FS = \frac{c_u r^2 \Delta\theta}{W d + P_W \gamma_c}$

### 3.4.3 Metodi dei concetti

L'analisi viene suddivisa generalmente da superfici verticali in un numero finito di concetti (n). Il problema si presenta staticamente indeterminato a causa della sovrabbondanza di incognite rispetto al numero delle equazioni con parametri noti, l'indeterminazione vale:  $6n - 2 - 4n = 2n - 2$

Le equazioni aggiuntive riguardano le forze orizzontali (H) e verticali (V) che si sviluppano sulle superfici verticali tra i concetti. In proposito al numero di equazioni aggiunte, i metodi si dividono in:

1. Semplificati: soddisfano solo una delle due equazioni di equilibrio, sottostimando il valore di FS a tutto vantaggio di sicurezza. La sottostima aumenta con l'approssimarsi del valore di pressione nei pori al valore della tensione litostatica e con cerchi profondi.<sup>21</sup>
2. Rigorosi: soddisfano tutte le condizioni di equilibrio, fornendo risultati più affidabili.<sup>22</sup>

<sup>19</sup> Law & Lumb 1978, Chug 1986, Sarma & Tan 2006, Cheng et Alii 2007.

<sup>20</sup> Seed & Sultan 1967, Lutton & Banks 1970, Sarma 1979.

<sup>21</sup> Metodi semplificati: Fellenius, Bishop, Janbu e Skempton.

<sup>22</sup> Metodi rigorosi: Janbu, Spencer, Morgenstern & Price, Sarma 1973.

I metodi semplificati hanno le seguenti equazioni risolutive del rapporto del Fattore di Sicurezza:

- Modello svedese o di Fellenius, per tensioni efficaci

$$FS = \frac{c'R\theta + \sum_i^n (W_i \cos \alpha_i - u l_i) \tan \varphi'}{\sum_i^n (W_i \sin \alpha_i)}$$

- Metodo di Skempton & Hutchinson, per tensioni totali

$$FS = \frac{C_u R \theta}{\sum_i^n (W_i \sin \alpha_i)}$$

- Metodo di Bishop semplificato, convenzionale

$$FS = \frac{\sum_i^n [c'l + (W_i - u l) \tan \varphi'] / m_\alpha}{\sum_i^n (W_i \sin \alpha_i)}$$

Per ipotesi dei metodi all'equilibrio limite, questi non sono in grado di assumere, lungo la superficie di analisi, caratteristiche di resistenza diverse da quelle del materiale integro. Se il terreno è interessato da discontinuità diffuse, occorre utilizzare tali minori parametri di resistenza allorché la superficie di analisi approssima quella di discontinuità. Un metodo di calcolo automatico in grado di assumere i parametri delle discontinuità nel caso in cui l'inclinazione della base dell'*i*-esimo concio ( $\alpha_i$ ) ricade all'interno di un intervallo angolare ( $\pm \varepsilon$ ) definito dalla deviazione standard del set di valori di inclinazione delle discontinuità ( $\beta$ ) in cui il valore medio è definito con  $\beta_m$ :  $\beta_m + \varepsilon > \alpha_i > \beta_m - \varepsilon$

### 3.4.4 Rottura progressiva nei metodi LEM a conci

Nei terreni in cui è prevedibile un decadimento delle caratteristiche di resistenza con l'avanzare degli spostamenti sulla superficie di taglio *strain-softening*, la rottura progressiva rappresenta uno dei principali fenomeni responsabili del collasso generalizzato del versante.

L'azione della rottura progressiva produce l'effetto di un decadimento del coefficiente di sicurezza calcolato con i consueti metodi LEM i quali considerano che la rottura avvenga simultaneamente lungo tutte le porzioni della superficie di scivolamento secondo parametri di resistenza al taglio invariabili. Il risultato è un valore di FS significativamente più basso di quello calcolato con la resistenza al taglio di picco invariata.

Le fasi della rottura progressiva percorrono una procedura iterativa<sup>23</sup>:

- Sviluppo dell'analisi LEM con parametri di taglio di picco
  1. Calcolo della sollecitazione a taglio alla base dei conci
  2. Calcolo della resistenza a taglio alla base di ciascun concio

<sup>23</sup> Chowdhury, 1992.

3. Calcolo FS in ciascun concio
- Sviluppo dell'analisi LEM con parametri di taglio ultimi o residui
  1. Individuazione conci
  2. Calcolo FS in ciascun concio con nuovi valori taglio
  3. Redistribuzione valori taglio in eccesso
  4. Calcolo FS in ciascun concio non a rottura
  5. Iterazione delle fasi fino al valore costante di FS e nessun concio è a rottura

La procedura non considera effettivamente le eventuali concentrazioni di tensione dovute alla deformabilità del pendio.

### 3.4.5 Coefficiente di sicurezza e velocità di spostamento

La *back-analysis* (a ritroso) rappresenta una tecnica largamente in uso per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio lungo la superficie di rottura di una frana in attività. Si assume che il fattore di sicurezza durante il movimento di frana sia unitario, deducendone le caratteristiche di resistenza che verranno utilizzate per la progettazione degli interventi di consolidamento.

### 3.4.6 Scelta del fattore di sicurezza di progetto

La scelta di FS di progetto di un pendio naturale connesso a opere antropiche o stabilizzato con interventi di consolidamento dipende da diversi fattori:

- Conseguenze del collasso,
- Affidabilità delle informazioni disponibili.

In merito alle categorie di rischio, il Geotechnical Control Office<sup>24</sup> di Hong Kong (del 1984) offre uno strumento articolato di guida nella scelta del valore del FS basato sul rischio connesso alle perdite economiche ed umane attese in corrispondenza del verificarsi dell'evento di collasso.

---

<sup>24</sup> GCO del 1984: una delle principali funzioni di regolamentazione di sicurezza della pendenza è quella di verificare la progettazione di opere in terra per assicurare che soddisfino gli standard di sicurezza vigenti. L'ambito di controllo riguarda la progettazione degli aspetti geotecnici di tutti gli sviluppi edifici e lavori di ingegneria civile e gli standard di supervisione del sito (<http://www.cedd.gov.hk/eng/services/control>).

strutture coinvolte	rischio di perdite di vite umane		
	trascurabile	basso	alto
parchi rurali e aree aperte ricreative	X		
strade a basso traffico	X		
magazzini	X		
spazi aperti e ricreativi molto frequentati		X	
strade ad alto traffico o vie ciclopedonali		X	
area di attesa pubblica		X	
edifici occupati residenziali, scolastici, commerciali e industriali			X
edifici di stoccaggio di beni pericolosi			X

strutture coinvolte	rischio di perdite economiche		
	trascurabile	basso	alto
parchi rurali	X		
strade rurali e locali ad accessi multipli	X		
parcheggi all'aperto	X		
strade rurali e primarie ad accessi multipli		X	
infrastrutture di servizio con interruzioni temporanee		X	
strade rurali e urbane o di importanza strategica			X
infrastrutture di servizio con interruzioni prolungate			X
edifici che possono subire danni strutturali eccessivi			X

Si correlano i fattori di rischio in base ai danni che possono subire e a cui sono esposti

rischio di perdite economiche	rischio di perdite di vite umane		
	trascurabile	basso	alto
trascurabile	1.1	1.2	1.4
basso	1.2	1.3	1.4
alto	1.4	1.4	1.5

Il British Standard BS 6031 (1981) – Code of practice for earthwork<sup>25</sup> suggerisce i seguenti valori:

Per pendii in condizioni di filtrazione stazionaria FS = da 1,25 a 1,5

Per pendii in condizioni di rapido svasso FS = 1,2

Per pendii instabili consolidati FS = 1,2

L'approccio normativo svizzero, con le SIA 267:2003, suggeriscono i fattori di sicurezza secondo cui

- Se la frana è superficiale a profondità media compresa in 10 m FS = 1,2
- Se la frana è profonda a profondità media compresa in 20 m FS = 1,1

Se il terreno è in condizioni di equilibrio limite, l'analisi di stabilità dovrà verificare:  $E = R$ .

<sup>25</sup> BS 6031 del 1981: si applica alla progettazione, alla costruzione, alla gestione e alla disattivazione di opere di terra non rinforzate, che fanno parte della costruzione generale di ingegneria civile come autostrade, ferrovie e aeroporti, scavi grossi per strutture principali e scavi temporanei, compresi trincee, pozzi e alberi. Attualmente aggiornato in allineamento con i codici Eurocodes nel 2009.



Pertanto, in condizioni di rinforzo, si dovrà ottenere una delle disequazioni

$$\begin{cases} E_d \leq \frac{1}{FS} R + \Delta R_d \\ E_d - \Delta E_d \leq \frac{1}{FS} R \end{cases}$$

### 3.4.7 Metodi numerici

I metodi numerici affrontano l'analisi delle condizioni di sicurezza dei pendii in modo più rigoroso, puntuale e dettagliato; richiedono dati di ingresso molto più estesi ed accurati, per non creare inutili e dannose discrepanze tra l'accuratezza dei dati di base e l'accuratezza del modello matematico. La complessità è esasperata laddove il calcolo numerico si estende oltre il campo elastico lineare per entrare nella previsione delle deformazioni plastiche o visco-plastiche.

Il coefficiente di sicurezza è descritto da SFR “Strenght Reduction Factor” al collasso, parametro che nei metodi numerici è calcolabile in tutti i punti della massa analizzata. Nell'analisi FEM esso rappresenta la discretizzazione del valore puntuale di collasso del sistema ottenuto facendo diminuire progressivamente le caratteristiche di resistenza al taglio del terreno.

## 3.5 Spinte sulle palificate

Per la progettazione di opere di sostegno è fondamentale la determinazione delle spinte che vi si esercitano in condizioni statiche, dinamiche e sismiche. Si distingue l'ubicazione spaziale dell'opera nei confronti della massa potenzialmente instabile per cui è realizzata:

1. Completamente esterna, l'opera si oppone, con il solo peso proprio e/o con la sua resistenza strutturale a masse instabili o potenzialmente tali situate al di sopra del piano di posa; assume connotati di sostegno vero e proprio.
2. Parzialmente immersa, l'opera è parzialmente sostenuta dalla pressione resistente fornita dal terreno lungo lo sviluppo di paramento immerso del lato di valle; assume anche funzione di consolidamento nei confronti della massa instabile al di sotto dello sbalzo, in tal caso esistono due tipologie di spinte:
  - a. Spinte “locali” derivanti dalla massa al di sopra della quota di sbalzo,
  - b. Spinte “globali” derivanti dalla massa che coinvolge sia a monte che a valle l'opera.
3. Completamente immersa, l'opera non trova sostegno dalla pressione resistente fornita dal terreno sul paramento immerso lato di valle, in quanto anche il lato di valle appartiene alla massa instabile o potenzialmente tale; assume funzioni di puro consolidamento.

Qualora la potenziale instabilità della massa superiore si estenda oltre alle configurazioni sopra definite come “locali”, coinvolgendo una parte consistente di pendio o la sua interezza, le spinte denominate “globali”, che debordano il cosiddetto volume significativo del terreno nei confronti dell’opera, saranno determinabili solo attraverso un’analisi globale delle condizioni di stabilità del versante.

### 3.5.1 Spinte locali sulle opere di sostegno: modello di Rankine (1857)

Caso A: condizioni completamente drenate – solo attrito efficace  $\varphi'$  – pendio superiore orizzontale.

Il modello considera un terreno omogeneo e isotropo di estensione semi-infinita a monte dell’opera, pone l’assenza di attrito tra l’interfaccia della struttura e il terreno e ipotizza un paramento di monte verticale.

Ne risulta che le tensioni attive e passive sono 
$$\begin{cases} p_a = \sigma'_v \frac{1-\sin \varphi'}{1+\sin \varphi'} = \sigma'_v K_a \\ p_p = \sigma'_v \frac{1+\sin \varphi'}{1-\sin \varphi'} = \sigma'_v K_p \end{cases}^{26}$$

Espressi in funzione dell’angolo che formano le superfici di rottura piane alle condizioni limite,

i coefficienti di spinta sono espressi come 
$$\begin{cases} K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}) \\ K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}) \end{cases}$$

Infine la spinta complessiva agente sul paramento in funzione dell’altezza  $H$  è 
$$\begin{cases} P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \\ P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \end{cases}$$

e si posiziona a  $H/3$  dello sviluppo del paramento dal basso.

Caso B: condizioni completamente drenate – solo attrito efficace  $\varphi'$  – pendio superiore inclinato.

Il modello è simile al “caso A” con la considerazione del parametro  $\beta$ , che indica l’angolo di inclinazione del pendio superiore.

Le tensioni orizzontali sono le stesse ma i coefficienti di spinta subiscono la variazione

dell’angolo, quindi ne risultano 
$$\begin{cases} K_a = \frac{\cos \beta - \sqrt{(\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi')}}{\cos \beta + \sqrt{(\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi')}} \\ K_p = \frac{\cos \beta + \sqrt{(\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi')}}{\cos \beta - \sqrt{(\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi')}} \end{cases}$$

Quindi la spinta risultante attiva si ha con  $P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \cos \beta$

<sup>26</sup>  $K_a$  e  $K_p$  sono rispettivamente il coefficiente di spinta attiva ed il coefficiente di spinta passiva, analiticamente l’uno è l’inverso dell’altro.

Caso C: paramento di monte inclinato.

Il modello si caratterizza dal calcolo della risultante vettoriale della somma dei due vettori di spinta con il peso del cuneo e si applica al paramento di monte.

Caso D: terreno stratificato.

Nel caso di terreno stratificato si applica la somma vettoriale degli effetti ottenuti per ogni strato.

Caso E: condizioni completamente drenate – coesione efficace  $c'$  ed attrito efficace  $\varphi'$  – pendio superiore orizzontale.

Il modello aggiunge il termine di coesione del terreno, dato dal prodotto del valore di coesione e la radice del coefficiente di spinta.

Quindi le tensioni orizzontali diventano 
$$\begin{cases} p_a = K_a \sigma'_v - 2 c' \sqrt{K_a} \\ p_p = K_p \sigma'_v - 2 c' \sqrt{K_p} \end{cases}$$

Avviene la formazione di fessurazioni dal piano campagna con una lunghezza  $z_0 = \frac{2 c'}{\gamma \sqrt{K_a}}$

Mentre la spinta attiva avrà una distribuzione triangolare ed applicata ad un terzo del paramento, la spinta passiva avrà una distribuzione trapezoidale a partire da un valore non nullo in sommità all'opera e risulterà pari alla somma delle componenti a distribuzione triangolare ( $P_1$ ) e a distribuzione rettangolare ( $P_2$ ):

- La spinta attiva ha  $P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma (H - z_0)^2$ , applicata a quota  $h = \frac{H - z_0}{3}$
- La spinta passiva ha  $P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 + 2 c' \sqrt{K_p H}$ , applicata a quota  $h = \frac{P_1 \frac{H}{3} + P_2 \frac{H}{2}}{P_1 + P_2}$

Caso F: sovraccarico distribuito.

In presenza di carico distribuito, questo viene sommato alla spinta come prodotto di se stesso col coefficiente di spinta.

L'unica differenza si ha nei valori delle tensioni 
$$\begin{cases} p_a = K_a \sigma'_v + K_a q - 2 c' \sqrt{K_a} \\ p_p = K_p \sigma'_v + K_p q - 2 c' \sqrt{K_p} \end{cases}$$

Caso G: condizioni non drenate.

Il modello differenzia i terreni coesivi più fini, in cui è appropriato l'uso delle resistenze totali in termini non drenati, ovvero  $C_u$  e  $\gamma$ , dai terreni granulari, in cui appare ragionevole attribuire una pressione neutra  $u=0$  al di sopra della falda, mentre al di sotto di questa si assumono le spinte precedentemente calcolate col valore di peso di volume  $\gamma'$ .

La spinta dell'acqua è data da  $P_w = \frac{1}{2} \gamma_w z^2$

In forma generale, con i coefficienti di spinta nulli, le tensioni orizzontali

$$\begin{cases} p_a = \sigma_v - 2 C_u \sqrt{1 + \frac{c_w}{c_u}} \\ p_p = \sigma_v - 2 C_u \sqrt{1 + \frac{c_w}{c_u}} \end{cases}$$

### 3.5.2 Spinte locali sulle opere di sostegno: modello di Coulomb (1776)

Il modello di Coulomb si presta per la determinazione delle spinte sull'opera anche nei casi di superficie superiore irregolare, sovraccarichi irregolari e presenza di fessure in terreni coesivi.

Secondo l'ipotesi di rottura nella superficie piana passante per la base della parete, il modello analizza le condizioni statiche all'equilibrio limite di un cuneo di terreno delimitato a valle dal paramento di monte dell'opera, superiormente dalla superficie topografica e inferiormente dalla superficie di rottura di tentativo. La ricerca del cuneo di massima spinta attiva e di minima spinta passiva può essere effettuata analiticamente o graficamente.

Il poligono delle forze si complica nel caso di terreni con resistenza per coesione e attrito,  $c$  e  $\varphi$ , dalla presenza delle forze coesive lungo il paramento di monte dell'opera e la superficie di rottura, rispettivamente  $c_w$  e  $c$ .

Nel caso di attrito nullo tra paramento dell'opera e terreno, la soluzione coincide con quella di Rankine; negli altri casi appare in generale più conservativa a patto di introdurre valori di  $\delta$  limitati al fine di non ridurre le forze agenti orizzontali a favore di quelle stabilizzanti verticali.

Muller-Breslau, nel 1924, hanno determinato l'espressione esplicita dei coefficienti di spinta attiva e passiva dedotte dall'approccio di Coulomb:

$$\begin{cases} K_a = \frac{\sin^2(\psi + \varphi)}{\sin^2 \psi \sin(\psi - \varphi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\psi + \varphi) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\psi - \varphi) \sin(\varphi + \beta)}} \right]^2} \\ K_p = \frac{\sin^2(\psi - \varphi)}{\sin^2 \psi \sin(\psi + \varphi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\psi + \varphi) \sin(\varphi + \beta)}{\sin(\psi + \varphi) \sin(\varphi + \beta)}} \right]^2} \end{cases}$$

### 3.6 Opere di sostegno

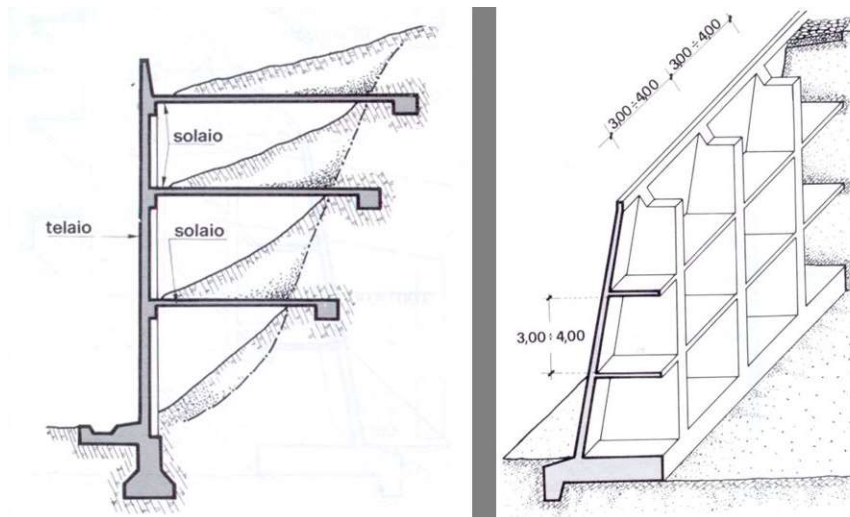
A seguito della parentesi teorica ed analitica, è doveroso fare una panoramica sulle opere strutturali costruite ed utilizzate in funzione alle condizioni ambientali e al materiale in dotazione.

In primo approccio sono utilizzate le opere di sostegno a gravità, questa classe è divisibile in altre categorie, quali i muri di sostegno classici, con lo scopo di prevenire gli smottamenti dei pendii naturali ripidi e di assicurare la stabilità dei pendii artificiali sagomati. A loro volta, possono essere in sterro o in rilevato: i primi sono caratterizzati da una piattaforma a valle e sono soggetti ad una rottura localizzata del ripido pendio a monte, i secondi hanno una piattaforma a monte presentando una possibile rottura generale profonda o superficiale dovuta al sovraccarico.

In base alla geometria, i muri di sostegno sono classificati:

- A gravità, in virtù del proprio peso, con una struttura tozza;
- A mensola, grazie al peso del terreno, resistente alla flessione e taglio applicata dal terreno stesso;
- A contrafforti, sfruttando al meglio le proprietà del terreno e della struttura stessa.

Nel caso di muri di sostegno, essendo strutture permanenti, si applicano sempre i drenaggi tramite fori, oppure basati su materiali con capacità drenanti, o con la possibilità dell'inerbimento del terreno.



In queste soluzioni di contenimento si applicano le verifiche tramite il metodo degli stati limite, a ribaltamento, per slittamento e per capacità portante, seguendo le normative tecniche delle costruzioni vigenti (NTC2008).

Un'altra soluzione che sfrutta la spinta gravitativa del terreno sono le gabbionate, ovvero una serie di elementi indipendenti affiancati ed appoggiati l'uno sull'altro. Queste hanno il vantaggio di essere molto flessibili adattandosi ai movimenti ed assestamenti del terreno, oltre che favorire la permeabilità, quindi include l'opera di drenaggio.



In alternativa sono proposte le opere dette crib-walls, cioè dei muri a cassone costituiti da prefabbricati in cemento armato incastonati, riempiendo i vuoti con terreno incoerente e drenante. Anche questa soluzione presenta l'opera di drenaggio e sfrutta il proprio peso per fissare il terreno, rinunciando alla flessibilità conferita dalle gabbionate, quindi utile a spinte ben maggiori.

Un'opzione altrettanto valida rispetto ai muri di sostegno è quella della terra armata, quindi un'opera composta da terreno ed armatura, basata sull'attrito tra questi due elementi nel sottosuolo. In particolare, il terreno deve avere un coefficiente di attrito con l'armatura sufficiente ( $>0,35$ ); inoltre, deve essere messo in opera con strati orizzontali successivi ottimizzando il riempimento. Le armature sono flessibili e resistenti a trazione, presentano un elevato coefficiente d'attrito e, isolate, hanno una buona resistenza alla corrosione; sono poste perpendicolari ed agganciate al paramento, parallele agli strati di terreno. Infine, il paramento verticale deve adattarsi alle deformazioni dell'ammasso, quindi è costituito da profilati metallici d'acciaio o d'alluminio. La lunghezza delle armature nella struttura va in funzione all'ancoraggio nel terreno, quindi sufficiente ad conferire la necessaria coesione tra terreno ed armatura.

Nell'analisi tensionale si individuano due zone di sforzo di trazione: una zona attiva, vicina al paramento con tensioni verso l'esterno dell'opera, e una zona passiva, distante dal paramento con tensioni verso l'interno dell'opera.

La verifica dell'intera struttura si ha con il metodo degli stati limite da NTC2008, con un controllo del ribaltamento, dello slittamento e della capacità portante.

Questo genere di opera hanno una buona funzione di sostegno e stabilizzazione dei pendii in frana, oltre che in rilevati ed argini di corsi d'acqua; sono anche idonee a sopportare un carico o uno sforzo molto elevato senza subire danni da cedimenti assoluti e differenziali.



Molto utilizzati per minore impatto visivo sono le paratie, cioè pareti verticali parzialmente o interamente immerse nel terreno, con una funzione idraulica, di sostegno, di fondazione o mista. L'intensità della pressione mutua di contatto dipende dal movimento della parete e delle deformazioni del terreno. Nell'analisi delle tensioni, risulta che le azioni orizzontali di monte e di valle hanno stesse intensità e direzione, con verso opposto.

Esistono due tipologie di paratie:

- Le palancole, sono permanenti o provvisorie in legno, in cemento armato o d'acciaio, messe in opera secondo un reciproco collegamento ad incastro. Hanno un'elevata resistenza con un peso ridotto, quindi facilmente trasportabili, sono dotate di elevata durabilità per la resistenza alla corrosione.
- I diaframmi, sono pareti in cemento armato, quindi con alta densità di resistenza, permettono di ridurre i volumi di scavo e le aree di lavoro, perciò utilizzati in ambiente urbano e con pochi spazi. I diaframmi possono essere a pali secanti (trivellati nel suolo) oppure a pannelli lineari.



La verifica di funzionamento dell'opera si basa sull'equilibrio limite secondo le ipotesi di legame rigido-plastico, pressioni indipendenti dalla modalità di deformazione ed una distribuzione lineare della pressione.

Le paratie sono classificate in base ai vincoli posti, quindi al grado di libertà:

Esistono le paratie a *sbalzo* con un numero di incognite pari alle equazioni del sistema, quindi si pone un problema isostatico; questo è esteso alle differenti condizioni geotecniche al contorno. Il progetto avviene secondo le fasi di determinazione dei diagrammi limite di pressione attiva e passiva, nonché alla pressione dell'acqua, a monte e a valle; successivamente si impongono le condizioni di equilibrio ricavando le profondità incognite. Infatti le soluzioni del problema sono date dalla conoscenza della profondità del perno del sistema strutturale ed il coefficiente di sicurezza.

Le paratie con un *ordine di tiranti* hanno un numero di vincoli superiore, quindi presentano in prima approssimazione un problema iperstatico. Allora si fa riferimento a tre metodi di soluzione:

- Metodo del supporto libero, con elevata rigidità, ponendo le ipotesi di traslazione della struttura verso l'esterno, spinta attiva del terreno resistente e spinta passiva del

terreno antistante. Tenendo conto delle condizioni geotecniche al contorno, le soluzioni sono date per conoscenza delle incognite quali la profondità d'infissione e la forza dei tiranti.

- Metodo del supporto fisso, con modesta rigidezza, ponendo le ipotesi di traslazione sia esterna che interna, terreno diviso in più parti attive e passive ed, infine, assegnazione della posizione di flesso nullo in funzione dell'angolo di resistenza a taglio, secondo un modello semi-empirico di correlazioni (Rowe). Con queste condizioni, insieme a quelle geotecniche ambientali, si ricavano le incognite di taglio in flesso, forza, proprietà infissione e pressioni interstiziali in profondità.
- Metodo dei tiranti di ancoraggio, costituiti da tre elementi: la testata, una parte libera con fondazione ed il bulbo o piastra di ancoraggio. Sono composti da acciaio armonico per l'armatura, mentre nel bulbo (o piastra) si ha iniezione di malta. Se si utilizza il bulbo la forza è garantita dalle tensioni tangenziali di attrito ed aderenza tra la fondazione e il terreno. Nel caso della piastra la forza è garantita dalla differenza di spinta attiva a monte e passiva a valle.

In ultimo, si presenta la soluzione strutturale di scavi armati e trincee, quindi strutture provvisorie armate per sostegno di pareti di scavi verticali temporanee. Il materiale utilizzato varia dalle tavole in legno alle palancole metalliche fino ai diaframmi in cemento armato, a seconda dei costi e della provvisorietà dell'opera.

Nella verifica strutturale si utilizzano i diagrammi di pressione semplificati ottenuti in modo empirico dai valori misurati dello sforzo normale nei puntoni di diverse strutture e diversi terreni.

## 4. Focus

*Il passato ed il presente  
sono la chiave per il futuro.  
(ENEA)*

### 4.1 Relazione tra le precipitazioni e le frane

È stato condotto uno studio sull'influenza delle piogge sul dissesto idrogeologico di siti in frana; come già trattato nel capitolo teorico, è risultata fondamentale la componente delle pressioni interstiziali sul fattore di sicurezza e sulla spinta attiva delle masse sulle opere presenti. Le precipitazioni intense sono state la causa principale degli smottamenti e dei danni alla popolazione teramana presa in esame, per cui risulta necessaria una correlazione e una corretta previsione dei fenomeni atmosferici.

Durante un convegno IARG<sup>27</sup> nel 2014 tenutosi nell'Università D'Annunzio di Pescara e Chieti, si è molto discusso di questo tema e si è presentata una proposta di previsione meteorologica con una correlazione della stabilità dei terreni. Il modello matematico sviluppato è stato creato nell'Università della Basilicata dagli ingegneri Vassallo, Grimaldi e Di Maio e si basa su un'analisi 3D delle sezioni di scivolamento in particolare su terreni argillosi.

Infatti, è solo una convenzione matematica l'omogeneità della rottura a taglio contemporanea in tutta la superficie. In realtà le pressioni interstiziali variano nelle direzioni trasversali e longitudinali, perciò risulta molto più complesso determinare il fattore di sicurezza del versante. Si applica un software di monitoraggio 3D secondo un modello di correlazione tra le piogge, le pressioni interstiziali ed il fattore di sicurezza, così come nell'esempio del caso studiato di Costa della Gavetta (PZ) su cui è stato sperimentato il modello.

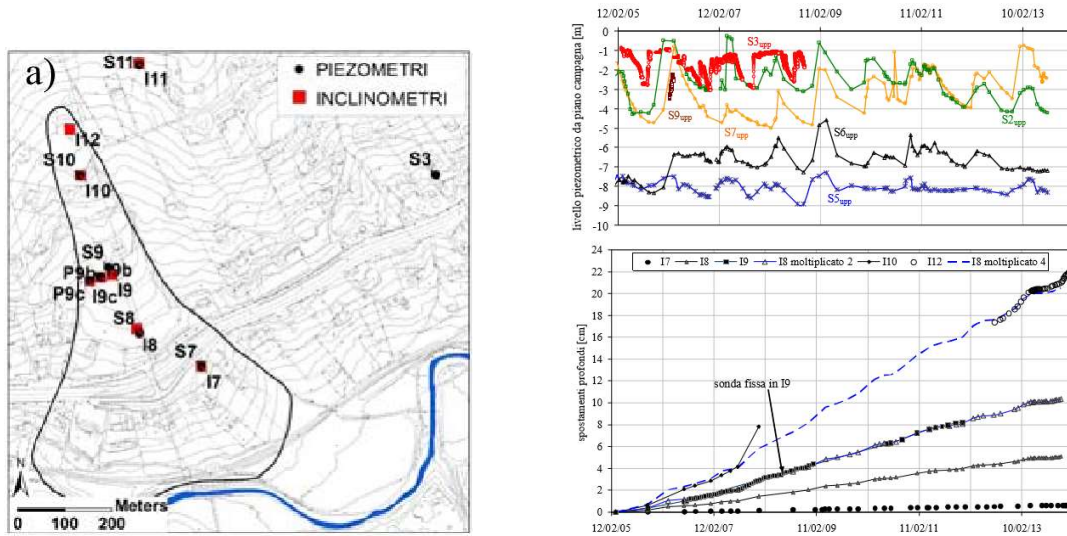
Cascini e Versace (1986) fanno una panoramica sui diversi modelli di correlazione semi-empirica globali e locali: i modelli di simulazione possono essere idrologici, secondo una correlazione tra precipitazioni e pressioni interstiziali, oppure fisicamente basati, per riproduzione di processi fisici nei pendii, o anche misti; la previsione di spostamenti può essere allo stesso modo fisicamente basata oppure fenomenologica.

Nell'analisi 3D del modello RUF (Rain – pore pressure U – safety Factor) di Leroueil (2001) si ha la combinazione del modello fisicamente basato per la valutazione delle pressioni 3D a scala di pendio con il calcolo del coefficiente di sicurezza 3D globale.

Nella sperimentazione del controllo della frana di Costa della Gavetta, è stata utilizzata una serie di strumentazioni di rilievo e raccolta dati così formata: nel 2005 sono messi in sito i piezometri di Casagrande con profondità dai 15 m ai 35 m (S7, S8, S10, S11), delle celle

<sup>27</sup> IARG: Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica

piezometriche (S9), dei tubi inclinometrici nei fori adiacenti per il monitoraggio degli spostamenti, una sonda inclinometrica per il monitoraggio continuo della superficie di scorrimento (I9) e nel 2013 ulteriori piezometri di Casagrande (S9, I9).



Dopo 10 anni di monitoraggio, il risultato è dato dal cinematiso prevalente di scorrimento lungo una superficie e andamenti temporali degli spostamenti fortemente collegati fra loro. Il meccanismo di portata è costante, cioè da monte a valle l'area cresce inversamente proporzionale alle velocità; in I9 è registrata una velocità media di 1,2 mm/mese, con i minimi in estate ed i massimi in inverno. A posteriori, si determina la tipologia di frana come earthflow in fase attiva e lenta.

L'analisi 3D delle pressioni interstiziali avviene secondo il codice di calcolo "Modflow" affiancato al software UZF<sup>28</sup>, questa genera il ruscellamento rimuovendo un'aliquota di portata per ottenere valori nulli a piano campagna. Nell'esempio di Costa della Gavetta, ci si basa sulle ipotesi di:

- Dominio tra sezione trasversale S11 e versante opposto;
- Nel piano X-Y discretizzato 20 m di lato, nella direzione Z ha 26 strati a spessori variabili;
- Suolo saturo eterogeneo con K di permeabilità pari a  $10^{-9}$  m/s se il corpo è stabile, pari a  $10^{-8}$  m/s se il corpo è in frana;
- Valore di coefficiente di compressibilità ( $m_v$ ) pari a  $1,2 \times 10^{-5}$  kPa<sup>-1</sup>;
- Sul piano campagna orizzontale e regolare, si ha una spinta ( $q_n$ ) nulla;
- La valutazione dei dati di pioggia efficace.

Vassallo (2014) analizza i risultati, traendone l'importante conclusione dell'indipendenza dalle condizioni iniziali dopo 10 anni di monitoraggio. Infatti l'escursione dell'altezza di pioggia tra

<sup>28</sup> Modflow e UZF: software di simulazione correlando le condizioni ambientali in input, con l'aggiornamento Unsaturated Zone Flow

piano campagna e pressioni neutre si riduce al diminuire del tempo di pioggia, per effetto della maggior frequenza di ruscellamento.

Secondo Vassallo si ha l'indice di sovrappressione interstiziale percentuale, in funzione del valore medio della pressione neutra fissata e del tempo:  $I_{u,p} = \frac{u_p(t) - \bar{u}_p}{|\bar{u}_p|}$ .

L'analisi di stabilità tramite il codice di calcolo dell'equilibrio limite tridimensionale viene effettuata con STAB3D elaborata da Chen (2003) e tramite Modflow si ottiene il rapporto:

$$F_S = \frac{\sum(\gamma z_i \cos^2 \alpha - u_i) \tan \varphi'}{\sum(\gamma z_i \sin \alpha \cos \alpha)}$$

Quindi si ottiene un accordo tra il fattore di sicurezza e la velocità degli spostamenti lungo la superficie di scorrimento con risoluzione giornaliera, in particolare nelle stagioni autunnale, invernale e primaverile; inoltre si ha una soddisfacente correlazione tra la velocità di scorrimento e le pressioni interstiziali medie sulla superficie di scorrimento, con una forte dipendenza delle fasce meno profonde di questa.

In conclusione si ha che la conducibilità idraulica e la compressibilità dei terreni presenti in sito sono tali da rendere significative le pressioni interstiziali solo a profondità inferiori a 10 m; infine si ottiene che l'andamento del fattore di sicurezza nelle tre dimensioni all'equilibrio limite globale riproduce l'andamento temporale alle velocità nelle sonde fisse.

#### 4.1.1 Il cambiamento climatico: cause e conseguenze

Si analizza brevemente il cambiamento climatico, ormai protagonista della vita quotidiana e principale problematica a livello internazionale, per avere un punto della situazione più dettagliato e rispondere a interrogativi riguardanti le cause di dissesti inspiegati.

A seguito di vari incontri dei capi di Stato e rappresentanti dei “giganti del mondo”, come l'accordo internazionale di Parigi 2015 stipulato il 12 dicembre dopo diversi meeting di confronto su più temi, si è deciso di portare avanti la ricerca e l'impegno per cercare di mitigare questo fenomeno. Ma molto spesso ci si chiede perché è così necessario? Come fare? E qual è l'impegno concreto da prendere? Che relazione si ha col dissesto idrogeologico?

Per rispondere a queste domande bisogna capire da cosa è causato il cosiddetto Global Warming e molti enti e team di ricercatori sono impegnati proprio in questo scopo. Si legge una diretta e semplificata spiegazione sul sito di European Commission<sup>29</sup>:

*“L'uomo esercita un'influenza crescente sul clima e sulla temperatura terrestre con attività come la combustione di combustibili fossili, la deforestazione e l'allevamento di bestiame. Queste*

<sup>29</sup> [https://ec.europa.eu/clima/change/consequences\\_it](https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_it)

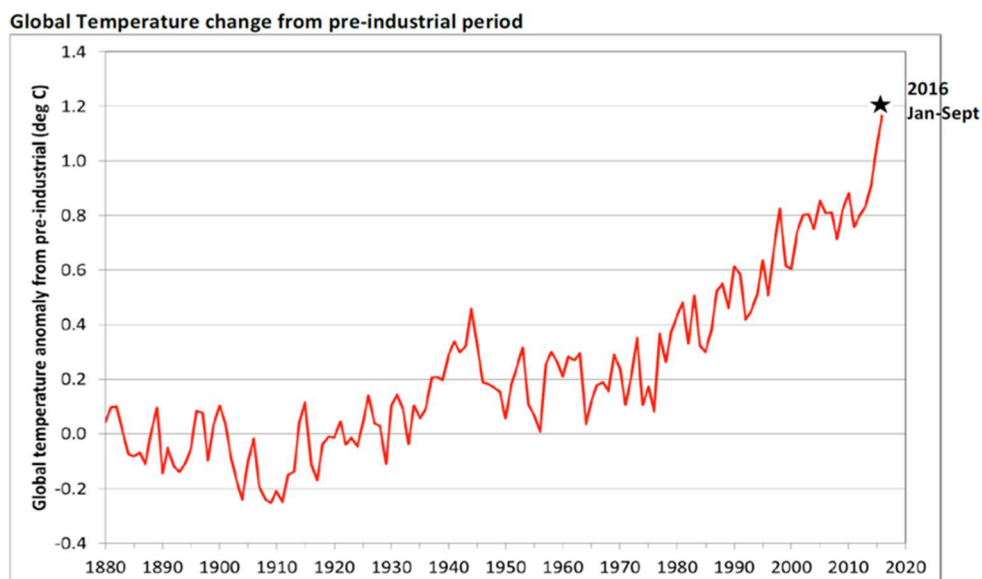
*attività aggiungono enormi quantità di gas serra a quelle naturalmente presenti nell'atmosfera, alimentando l'effetto serra e il riscaldamento globale.”*

In particolare, il gas serra è così definito perché, l'insieme di alcuni gas presenti in atmosfera, agiscono come il vetro di una serra: catturano il calore irraggiato dal sole nelle ore diurne e ne impediscono la fuoriuscita dopo essere stato riflesso dal suolo. Gli artefici di questo fenomeno sono l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), il metano (CH<sub>4</sub>), l'ossido di azoto (NO) e i gas fluorurati (F<sup>-</sup>). L'anidride carbonica è prodotta soprattutto dall'attività umana ed è responsabile del 63% del riscaldamento globale, essendo presente in atmosfera in quantità 40% superiori al livello registrato agli inizi dell'era industriale. Gli altri gas invece sono presenti in quantità minori, ma hanno la capacità di amplificare l'effetto serra molto più della CO<sub>2</sub>, il metano è responsabile del 19% del riscaldamento antropico, mentre l'ossido di azoto del 6%.

È chiaro che questi gas sono dannosi per l'ambiente se presenti in quantità eccessive, perché i processi naturali non riescono ad assimilarli, ma bisogna capire da dove vengono emessi, quindi come l'uomo ha incrementato il loro sviluppo in atmosfera. L'aumento delle emissioni è dovuto alla combustione di carbone, petrolio e gas nel fabbisogno energetico della popolazione, producendo fumi eccessivi (ovvero CO<sub>2</sub> e NO); la deforestazione rallenta l'assorbimento di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, essendo gli alberi i principali “depuratori” di gas nocivi; lo sviluppo dell'allevamento di bestiame, che produce grandi quantità di metano nella loro digestione quotidiana; è chiaro come l'emissione di fertilizzanti azotati rilasciano nell'ambiente ossidi di azoto; mentre è più difficile l'emissione di gas fluorurati essendo ormai vietati dalla legislazione dell'UE, dato che sono responsabili di un potente effetto serra fino a 23000 volte più forte di quello provocato dalla CO<sub>2</sub>.

Il Global Warming, ovvero il riscaldamento globale, è dimostrato dalle attività di monitoraggio delle temperature medie annue; attualmente si registra un incremento di 0,85°C rispetto alla fine del XIX secolo, evidenziando che ciascuno degli ultimi tre decenni è stato più caldo rispetto ai precedenti, dall'inizio delle rilevazioni nel 1850. Dagli ultimi incontri internazionali si è deciso di contenere l'aumento della temperatura globale al di sotto di 2°C rispetto all'era preindustriale, perché questa è definita dagli scienziati come la soglia oltre la quale si ha un rischio di gran lunga maggiore di mutamenti ambientali permanenti e catastrofici a livello mondiale.





Nello stesso sito di European Commission<sup>30</sup> si espongono le dirette conseguenze al sistema antropico, ma anche all’ambiente naturale globale:

*“I cambiamenti climatici interessano tutte le regioni del mondo. Le calotte polari si sciolgono e cresce il livello dei mari. In alcune regioni i fenomeni meteorologici estremi e le precipitazioni sono sempre più diffusi, mentre altre sono colpite da siccità e ondate di calore senza precedenti. Questi fenomeni dovrebbero intensificarsi nei prossimi decenni.”*

La situazione è molto seria, non si parla di problematiche localizzate, né di cambiamenti sociali o adattamenti di un nuovo sviluppo. In gioco rientrano il futuro dell’intera specie umana, interessata per intero, qualsiasi etnia e qualsiasi continente, oltre che l’evoluzione di tutte le specie viventi. Col riscaldamento dell’atmosfera, si ha riscaldamento delle acque oceaniche, provocando lo scioglimento dei ghiacci e la riduzione delle superfici polari. La combinazione di questi fenomeni favorisce l’innalzamento del livello del mare, causando alluvioni ed erosioni delle aree costiere. Questa catena evolutiva incrementa l’insorgere di eventi climatici non più eccezionali, come si è constatato nei giorni di maltempo dell’inverno 2017 in tutto il continente europeo; provocando, inoltre, il deterioramento della qualità dell’acqua per le inondazioni e la progressiva carenza di risorse idriche.

<sup>30</sup> [https://ec.europa.eu/clima/change/causes\\_it](https://ec.europa.eu/clima/change/causes_it)

Questo è spiegato anche dal ricercatore P. Ruggieri dell'Università de L'Aquila con la presentazione del circolo cause-conseguenze a feedback positivo durante la Giornata Mondiale dell'Ambiente 2017 nel GSSI de L'Aquila.



Per l'Europa le principali conseguenze sono le forti ondate di calore nell'area centro-meridionale, con incendi boschivi oltre che siccità frequenti; la desertificazione dell'area mediterranea, con un clima sempre più subsahariano; la registrazione di alluvioni invernali nella parte settentrionale più ricorrente e pericolosa; l'incapacità di adattarsi e clima sfavorevole in tutte le zone urbane diffuse in tutto il continente. Invece, per i paesi in via di sviluppo, si ha ancora una forte dipendenza dal proprio habitat naturale, quindi se viene danneggiato dal cambiamento climatico i primi a subire le conseguenze sono proprio loro, avendo poche risorse economiche per far fronte autonomamente al problema. Direttamente sulla salute umana, si registrano aumenti di decessi nelle ondate di calore e, allo stesso tempo, decessi per freddo eccessivo, quindi si ha un incremento degli eventi estremi sia invernali che estivi; inoltre si ha una diffusione più rapida di malattie trasmesse dall'acqua e dai vettori reciproci.

Danni diretti si hanno anche a livello socio-economico, si registrano tra il 1980 e il 2011 perdite economiche per alluvioni oltre i 90 miliardi di euro colpendo 5,5 milioni di persone. Particolarmente esposti sono i settori dell'agricoltura, la silvicoltura, l'energia ed il turismo che dipendono proprio dai livelli di precipitazione locale.

Una raccolta più dettagliata delle conseguenze sul territorio nazionale è stata redatta da ENEA discutendo sulla *sostenibilità come sfida del futuro*, in cui vengono esposti i danni del secondo dopoguerra dai dissesti idrogeologici; questi si definiscono indiretti perché sono l'interazione tra l'intensificarsi degli eventi atmosferici estremi e la già nota vulnerabilità strutturale. Quindi si hanno ricadute a livello locale e puntuale, costringendo a interventi postumi chi ne rimane vittima.

In Italia è stato calcolato<sup>31</sup> un costo complessivo degli eventi franosi di 30 miliardi di euro nel periodo 1948-1990 e ben 52 miliardi di euro nel periodo successivo 1991-2009. Nel novembre del 1994 un'alluvione in Piemonte provocò 68 morti e da 8 a 13 miliardi di euro di spese per la popolazione; le piogge intense dell'ottobre 2000 portarono all'evacuazione di 40000 persone e 5,6 miliardi di euro in danni strutturali. L'incremento di eventi estremi è dimostrato anche dal fatto che dal 1948 al 2000 ci furono mediamente 4 regioni coinvolte ogni anno in smottamenti e alluvioni, ma dal 2000 al 2011 si hanno 8 regioni all'anno costrette a fronteggiare lo stato di

---

<sup>31</sup> Dati ISTAT e ISPRA (2012)

crisi naturale; e fin qui non si sono tenuti conto dei gravi danni ambientali derivanti dall'inquinamento di un'area a seguito dell'emergenza. Attualmente si registrano sempre di più fenomeni estremi con dinamiche nuove, in fasce altimetriche storicamente non interessate da instabilità. Dalle casse dello Stato provengono importanti finanziamenti pubblici, 190 milioni negli anni 1991-1998, 400 milioni nel 1998-2005, 300 milioni nel 2005-2008, per un totale di 890 milioni di euro in 17 anni con lo scopo di mettere il Paese in condizioni di sicurezza: ma di questo passo servono più di 100 anni, visto che il PAI ha censito una serie di interventi urgenti da 40 miliardi, senza una strategia operativa comune risolutiva.

L'intensificazione degli eventi alluvionali tra il 2009 e il 2012 porta al conteggio di 22 fenomeni estremi in Calabria ed in Toscana, 18 in Lombardia, Sicilia, Piemonte e Veneto, e 15 nelle regioni di Campania e Liguria; per un totale di un miliardo di euro spesi in 13 regioni nel solo ultimo triennio, di cui il 60% in Sicilia e Veneto, il 20% in Liguria e Toscana.

Infine, un'analisi effettuata dal geologo Fausto Guzzetti, del CNR-IRPI, riporta i dati più recenti: la spesa pubblica dal 1991 al 2011 ammonta a 10 miliardi, a cui vanno sommate le varie accise sulle spese quotidiane per ripagare i costi delle catastrofi naturali avvenute in passato. Si calcola che nel 2016 ci siano stati 4 morti, 12 feriti e 10mila sfollati a causa di dissesti, ma negli ultimi 5 anni in Italia morirono 136 persone con 30000 sfollati. Il numero di persone costrette all'evacuazione arriva a 410000 dal 1966 ad oggi; mentre il numero massimo di morti si riduce nel tempo, anche se ogni anno si hanno sempre più dissesti.

## 4.2 Relazione tra la vegetazione e le frane

Si è visto come le frane subiscono una grande influenza dai fattori antropici, ma alcune cause sono di origine naturale, non solo meteorica. Una componente importante, spesso sottovalutata, è la vegetazione presente sul versante di ipotetico dissesto. O meglio, una parete naturale con un terreno a vegetazione scarsa o assente, è molto più soggetto a frane rispetto ad un versante seppur acclive con una folta vegetazione; da cosa è dovuta questa differenza?

Gli studiosi M.G.Anderson e K.S.Richards, attraverso il libro "*Slope Stability*", dedicano un intenso studio sulle cause e conseguenze dei dissesti franosi, in particolare riservando un'ampia spiegazione alla relazione tra la vegetazione in sito e l'attivarsi di una frana. A monte di queste spiegazioni tecniche, sono state eseguite osservazioni e verifiche nelle regioni montane degli Stati Uniti, Canada, Giappone e Nuova Zelanda.

I fattori vegetazionali possono essere idrogeologici o meccanici. Questi meccanismi hanno degli elementi avversi ed altri benevoli: nei fattori idrogeologici hanno benefici sulla sicurezza del versante la presenza di fogliame sul suolo, capace di drenare le acque piovane con un

assorbimento più graduale e favorire l'evaporazione, e la rete di radici nel sottosuolo, che assorbono acqua nel terreno riducendo le pressioni interstiziali; allo stesso tempo i fattori idrogeologici sfavorevoli alla sicurezza di un versante sono proprio la presenza di alcune radici e steli, che non sono in grado di assorbire molta acqua ma, al contrario, limitano il drenaggio del terreno aumentando le pressioni neutre, e l'esaurimento dell'umidità del suolo, che accentua le rotture nel terreno essiccato e localizza una più probabile superficie di scorrimento. I benefici meccanici sono rappresentati dalle radici che rinforzano il terreno, tramite l'ancoraggio degli alberi agli strati più stabili e riducendo l'erosione superficiale degli agenti atmosferici; mentre la vegetazione trasferisce la spinta del vento al suolo, amplificando lo sforzo di taglio sul versante; infine il peso della vegetazione, seppur spesso trascurabile, è da tenere conto sull'analisi di sicurezza perché può essere favorevole o avverso.

L'influenza dei fattori idrologici sul versante, ovvero quanto un fattore è maggiore di un altro, è controllata dal tipo e le specie della vegetazione, la porzione coperta da questa, l'intensità delle piogge e le condizioni climatiche.

È ben noto che maggiore permeabilità e capacità di infiltrazione possono essere attribuite alla presenza di radici e una maggiore rugosità superficiale (Gaiser 1952, Aubertin 1971). Mentre localmente le richieste idriche di un gran numero di specie di alberi sono apprezzate, i dati quantitativi di traspirazione su un versante con vegetazione sono generalmente scarsi:

name	species	rooting habit	water use
alders	alnus spp	moderately deep	
apples	malus spp	locally deep	moderate
ash	fraxinus excelsior	moderately deep	moderate
beech	fagus sylvatica	shallow	low
birches	betula spp	shallow	low
cherris	prunus spp	moderately deep	low
chestnut	aesculus hippocastanum	moderately deep	moderate
hawthorn	crataegus spp	moderately deep	high
limes	tilia spp	moderately deep	moderate
maples and sycamore	acer spp	moderately deep	moderate
oaks	quercus spp	deep	high
oak, turkey	quercus cerris	fairly shallow	
plane, london	platanus	moderately deep	moderate
poplars	populus spp	deep	high
willows	salix spp	moderately deep	high
cedars	cedrus spp	moderately deep	
douglas fir	pseudotsuga menziesii	shallow	moderate
larches	larix spp	deep	
lawson cypress	chamaecyparis lawsoniana	moderately deep	
monterey cypress	cupressus macrocarpa	moderately deep	high
pine, corsican and austrian	pinus nigra	moderately deep	high
pine, scots	pinus sylvestris	shallow	high
redwood, sierra	sequoiadendron giganteum	deep	
silver firs	abies spp	deep	
spruces	picea spp	shallow	moderate

<sup>32</sup> Water use and rooting habit of trees on clay soils in England, studio di Binns nel 1980 pubblicato da HMSO

La domanda del ciclo biologico per l'acqua in un pendio ricoperto di vegetazione è soddisfatta dall'estrazione di umidità dal suolo da parte delle radici, quindi con la riduzione delle pressioni neutre, ma la traspirazione da parte degli alberi che crescono sui terreni argillosi può accelerare la formazione di fessure di ritiro durante la stagione secca, incrementando il rischio di rottura del suolo.

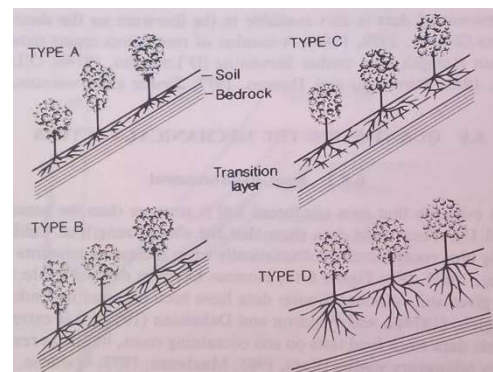
L'analisi delle radici in funzione alla specie, è stata svolta da Kozlowski nel 1971 evidenziando anche le tensioni normali e di taglio che queste sono in grado di sopportare. I sistemi di radici sono distinti in *lateral roots* se sono a sviluppo radiale e *sinker roots* se sono a sviluppo verticale. Questa distinzione è il principio della meccanica vegetazionale sul versante, basata sul peso della flora sul suolo e sulle tensioni delle radici nel sottosuolo. Durante uno smottamento, la vegetazione ha la capacità di fungere da barriera fino ad un limite di velocità dei massi, quindi utile per la protezione dei soggetti a valle. Certamente l'effetto delle radici dipende dalla profondità in cui esse sono ancorate e dal tipo di terreno caratterizzante la stratigrafia.

Tipo A: roots in soil, a favore di stabilità;

Tipo B: roots in bedrock, maggiore stabilità;

Tipo C: roots across transition layers, il taglio aumenta con la profondità;

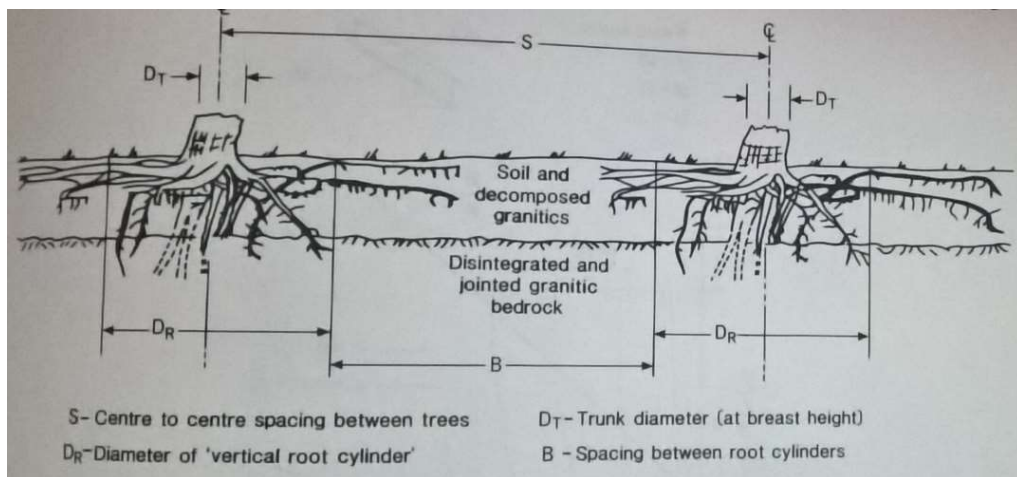
Tipo D: roots in large soil, potenziale per scivolamento.



33

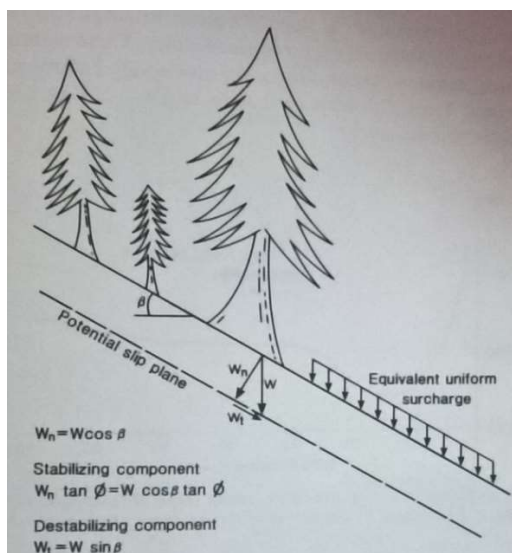
<sup>33</sup> Da Tsukamoto & Kusakabe, 1984, Hawaii Symposium.

Un ulteriore studio più approfondito si tenne da Wu nel 1976 e Gray & Leiser nel 1982, che valutarono la resistenza delle radici per ogni specie della flora anche dopo la loro deformazione. Quindi considerando uno stato limite ultimo superiore a quello di rottura in campo elastico. Fattori altrettanto fondamentali da considerare sono le tensioni tangenziali, quindi l'adesione e la frizione terreno-radice, così come è valutata nel sistema composto del cemento armato nelle costruzioni edili.



34

<sup>34</sup> Vertical root cylinders of trees on granitic slopes (da Gray, 1978)



Il peso di un albero sul versante è trascurabile, ma il sistema della vegetazione si considera come carico verticale distribuito uniformemente sul suolo. La sovrapposizione su un pendio aumenta sia le componenti di forza normali che quelli in discesa sulle potenziali superfici di scivolamento. L'influenza del vento è stata data da un coefficiente di resistenza localizzato, dalla densità di massa d'aria e dalla velocità di vento ambientale.

Viene condotta un'analisi della vegetazione presente sul territorio teramano in esame, in particolare facendo riferimento ai bacini fluviali dei sistemi ecologici del Salinello, del Tordino, del Vomano, del Piomba e del Saline. I territori delle frane descritte sono localizzati:

- Nella parte alta del Salinello quella di Ponzano di Civitella, caratterizzata da colture cerealicole e vivai prevalenti, alcuni frutteti, vigneti e uliveti, verso la montagna aree boscate con prati e pascoli;
- Nella regione della sorgente del Tordino di Castelnuovo di Campi, dove sono prevalenti le sclerofille, si ha un'alta presenza di aree antropizzate, con alternanza di vegetazione relitte in zone inaccessibili con cespuglieti e arbusteti di prunetaria e boschetti pionieri di ulmus e querce. Tra le tante coltivazioni antropiche vi è la presenza di cenosi boschive termofile, come graminacee ed asparagi;
- Nella zona terminale del Vomano di Casoli di Atri, dove risalta la presenza di habitat di acqua dolce con salici, graminacee e vegetazione cosmofitica, le foreste sono caratterizzate dai faggeti, querce e tigli.

Le caratteristiche salienti delle specie citate sono state raccolte<sup>35</sup> per compiere uno studio più attento della relazione tra suolo e flora superficiale, descritta come suggerito da Anderson e Richards in "Slope Stability".

Quindi si presenta la vite, diffusa in gran parte delle coltivazioni teramane, della famiglia delle Vitacee è una pianta arborea rampicante che può raggiungere notevoli dimensioni se incolta. L'apparato radicale è notevole, fino a 10 m di lunghezza, così come il fusto con i suoi lunghi rami. Le foglie sono tipiche delle varie specie e i frutti sono raggruppati in grappoli di acini.

<sup>35</sup> Fonte: canale di ricerca online Wikipedia ([https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina\\_principale](https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale))



Le querce sono della famiglia delle Fagacee, tipicamente monoiche, cioè la stessa pianta porta fiori maschi e fiori femmine, hanno le ghiande come frutti. Simili sono gli ulmus, anche se della famiglia delle Ulmaceae, si evidenziano gli olmi alti fino a 30 m; i fiori sono ermafroditi ed il frutto è detto samara.

Le graminacee si possono trovare in tutto il territorio teramano tra le coltivazioni antropiche, racchiudono una larga serie di specie, queste hanno il fusto articolato in nodi ed internodi in cui si sviluppano le foglie e ramificazioni laterali. I fiori sono raccolti in infiorescenze distintive della famiglia, denominate spighette e riunite in spighe o pannocchie. Mentre gli asparagi si possono trovare nelle aree vicine ai boschi e più in quota fino a 1300 m, hanno caratteristiche spine poste alla base dell'apparato fogliare.

Interessanti dal punto di vista botanico sono i salici, della famiglia delle Salicacee e tipici di aree con presenza di acqua dolce, comprendono 300 specie di alberi, arbusti e piante perenni legnose o fruticose, arrivando fino a 20 m di altezza.

Nell'area teramana si ha uno sviluppo di notevoli specie mediterranee, come l'ilex (da cui prende il nome la città di Elice) sempreverde con caratteristica di agrifoglio, può raggiungere i 10 m di altezza anche se di lento accrescimento; tra le conifere si ha il tasso, con altezze dai 5 ai 25 m; delle Oleaceae si ha il frassino e le sue 60 variazioni di specie, portamento arboreo legnoso con altezze superiori ai 30 m; in ultimo si presenta il pioppo, delle Salicacee come i salici, anch'esso con altezze superiori ai 30 m e con fusti che possono superare i 2,5 m di circonferenza, hanno chiome generalmente molto grandi e folte.

### 4.3 Enti interessati

Uno dei compiti più difficili ma senza il quale non è possibile realizzare alcun tipo di intervento, è quello attuato dall'amministrazione sul territorio e sulla popolazione coinvolta. Per la riuscita di un progetto e la sua massima efficacia, che sia un'opera strutturale o non strutturale, è necessaria la collaborazione di più enti. Si fa una panoramica su quelli che hanno fornito i dati maggiori per le ricerche e quelli che si occupano direttamente sul territorio di salvaguardia, sia dei beni che della popolazione stessa, in ambito nazionale e regionale.

La Protezione Civile nasce con la Legge Quadro 24 febbraio 1992 n. 225, "Istituzione del servizio nazionale della protezione civile", aggiornata con il decreto-legge 14 agosto 2013 n. 93, che individua tre livelli di gestione delle emergenze: nazionale, regionale e provinciale. Il Servizio di Protezione Civile svolge attività di previsione insieme ai Centri Funzionali attraverso la valutazione degli scenari di rischio e, quando possibile, preannuncia, monitora, sorveglia e vigila gli eventi e i livelli di rischio attesi.



Svolge attività di prevenzione che sono rappresentate dall'allertamento, pianificazione, formazione, diffusione della conoscenza della protezione civile, informazione alla popolazione, esercitazioni e applicazione della normativa tecnica.

Il Dipartimento di Protezione Civile partecipa anche alle attività di soccorso che consistono, invece, nell'insieme degli interventi di prima assistenza dell'emergenza, azioni necessarie per rimuovere gli ostacoli alla ripresa delle normali condizioni di vita nei territori colpiti (<http://protezionecivile.regione.abruzzo.it>).

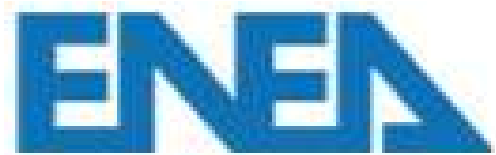
L'ISPRA è l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, viene istituito con la legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112.



È un ente pubblico di ricerca, dotato di personalità giuridica di diritto pubblico, autonomia tecnica, scientifica, organizzativa, finanziaria, gestionale, amministrativa, patrimoniale e contabile; sottoposta alla vigilanza del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, con funzioni di supporto (<http://www.isprambiente.gov.it/it>).

L'ENEA è l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, è un "ente di diritto pubblico finalizzato alla ricerca e all'innovazione tecnologica, nonché alla prestazione di servizi avanzati alle imprese, alla pubblica amministrazione e ai cittadini nei settori dell'energia, dell'ambiente e dello sviluppo economico sostenibile" (legge 221/2015).

Maggior presidio nazionale in materia di energia e ambiente, opera nel settore dell'efficienza energetica, delle fonti rinnovabili e leader nella ricerca sulla fusione, nelle tecnologie per la sicurezza nucleare e nell'innovazione tecnologica di prodotto e di processo.



Dispone di laboratori e impianti sperimentali di eccellenza e di alte competenze e professionalità in campo ambientale, della salute, dei beni culturali, per il sistema agroindustriale, la protezione sismica, la chimica verde, il contrasto ai cambiamenti climatici e

in settori nuovi quali le materie prime strategiche, le smart cities, l'economia circolare (<http://www.enea.it/it>).

La Regione Abruzzo ha un modello organizzativo coordinato accorpando materie omogenee, per dare risposte coerenti alle istanze relative allo sviluppo economico e alle molteplici attività antropiche. L'impegno della Regione Abruzzo è quello di perseguire uno sviluppo più sostenibile, che possa soddisfare i nostri bisogni e, salvaguardando l'ambiente e le sue risorse, ne assicuri il soddisfacimento anche alle future generazioni. In considerazione degli attuali problemi ambientali, una razionale gestione territoriale si attua essenzialmente arrestando la perdita di biodiversità e sviluppando l'utilizzo di energie rinnovabili, realizzando iniziative che non si limitino alle aree naturali protette, ma si estendano a tutti gli ambiti territoriali.

REGIONE  
ABRUZZO



Si sono poste le basi per una politica energetica basata sullo sviluppo delle fonti rinnovabili, sulla bonifica dei siti inquinati, sul contenimento dell'inquinamento luminoso ed elettromagnetico e su una pianificazione del territorio che tenga conto dell'elevato livello di biodiversità diffuso non solo nelle aree protette ma anche nei siti Natura 2000.

Quindi la Regione intende perseguire azioni di pianificazione che integrino le diversità ambientali, paesaggistiche e storico-culturali che caratterizzano il territorio abruzzese e le relative aspettative delle comunità locali (<http://www2.regione.abruzzo.it/xAmbiente>).

L'ARTA è l'Agenzia Regionale per la Tutela dell'Ambiente della Regione Abruzzo, viene istituita con l'approvazione della Legge Regionale n. 64/98.

La legge attua organicamente quanto disposto dalla L. n. 61 del 21 gennaio 1994, che, insieme all'istituzione dell'ANPA, Agenzia Nazionale per la Protezione

dell'Ambiente, provvede alla riorganizzazione dei controlli ambientali.



Tra le competenze istituzionali sono compresi: compiti e funzioni in materia di controlli e monitoraggio ambientale di fattori fisici, chimici, geologici e biologici, in materia di rifiuti, inquinamento acustico, di qualità dell'aria, delle acque e del suolo; compiti e funzioni in materia di formazione ed educazione ambientale; predisposizione di studi, ricerche, pareri in materia di prevenzione, protezione e tutela ambientale, attività di studio, ricerca e controllo dell'ambiente marino e costiero; degli aspetti fitosanitari del verde pubblico e delle Aree Naturali Protette

nonché dei prodotti agricoli esposti ad inquinamento; svolgimento di attività di supporto tecnico scientifico per conto della Regione ed Enti Locali, per le attività connesse all'approvazione di progetti e al rilascio di autorizzazioni in materia ambientale; rilascio di certificazioni ambientali quali: EMAS, ISO 14001, V.A.S., V.I.A.; funzioni inerenti le attività di laboratori deputati al controllo ufficiale dell'acqua destinata ad uso umano; gestione del sistema telematico di documentazione legislativa e tecnico-scientifica in materia di prevenzione e tutela dell'ambiente; prestazioni a favore di privati purché le stesse non risultino incompatibili dal punto di vista dell'imparzialità che l'Agenzia è tenuta a garantire nell'esercizio dei compiti di istituto; erogazione di servizi per il conseguimento dei fini istituzionali anche in rapporto a progetti predisposti da Enti territoriali che prevedono oneri a carico dell'utente (<http://www.artaabruzzo.it>).

L'Associazione Ingegneri per l'Ambiente e il Territorio è un'associazione di laureati e studenti del corso di ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio provenienti da tutti gli atenei italiani.



Lo sviluppo e la crescita di AIAT si fonda sulla partecipazione volontaria e sull'entusiasmo dei suoi soci (<http://www.ingegneriambientali.it/index.php?&lng=ita&function=home>).

Legambiente è nata nel 1980, erede dei primi nuclei ecologisti e del movimento antinucleare che si sviluppò in Italia e in tutto il mondo occidentale nella seconda metà degli anni '70. Tratto distintivo dell'associazione è stato sempre l'ambientalismo scientifico, la scelta, cioè, di fondare ogni iniziativa per la difesa dell'ambiente su una solida base di dati scientifici, che ci hanno permesso di accompagnare le nostre battaglie con l'indicazione di alternative concrete, realistiche, praticabili.

Questo, assieme all'attenzione costante per i temi dell'educazione e della formazione dei cittadini, ha garantito il profondo radicamento di Legambiente nella società, fino a farne l'organizzazione ambientalista con la diffusione più capillare sul territorio.



Riconosciuta dal Ministero dell'Ambiente come associazione d'interesse ambientale (Gazzetta Ufficiale n.48, 27.02.1987), fa parte del Bureau Européen del l'Environnement (B.E.E.) e della International Union for Conservation of Nature (IUCN). Dal Congresso Nazionale di Firenze del 19 dicembre 1999 è un'Organizzazione Non Lucrativa di Utilità Sociale (ONLUS).

Legambiente è presente in Abruzzo con un Comitato Regionale e circoli territoriali. Dalla tutela dell'ambiente alla difesa della salute dei cittadini, passando per la salvaguardia del patrimonio artistico italiano, sono questi alcuni dei campi in cui Legambiente è quotidianamente impegnata (<http://www.legambienteabruzzo.it>).

#### 4.3.1 Il progetto PAI

Lo strumento cardine per la gestione del rischio geomorfologico e idraulico è il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) che fa particolare riferimento alla difesa delle popolazioni e degli insediamenti residenziali e produttivi a rischio. Il PAI è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale l'Autorità di bacino individua, nell'ambito della difesa dei versanti e della regimazione idraulica, le aree da sottoporre a tutela per la prevenzione e la rimozione delle situazioni a rischio, sia mediante la pianificazione e programmazione di interventi di difesa, sia mediante l'emanazione di norme d'uso del territorio. L'Autorità di bacino provvede alla successiva tempestiva corrispondenza tra il PAI e le dinamicità del territorio mediante l'emanazione di Decreti Segretariali di aggiornamento. Secondo il DPCM del 29 settembre 1998, il rischio geomorfologico e idraulico deve essere suddiviso in quattro classi di seguito elencate:

- R1 moderato
- R2 medio
- R3 elevato
- R4 molto elevato

Sono individuate anche le opere, i manufatti e le infrastrutture che possono causare il rischio idrogeologico; quindi le Regioni adottano specifiche misure di incentivazione per consentire ai titolari di sostenere le spese di adeguamento delle infrastrutture e di rilocalizzazione delle attività produttive e delle abitazioni private in zone escluse dall'area a rischio. I piani straordinari, redatti anche sulla base delle proposte delle regioni e degli enti locali, individuano quelle aree nelle quali si concentrano i rischi più elevati per l'incolumità delle persone, per la sicurezza delle infrastrutture e del patrimonio ambientale e culturale.

La stima della pericolosità da frana è la probabilità di occorrenza di un fenomeno franoso di una certa intensità in una determinata area ed in un determinato periodo di tempo, è un'analisi predittiva che consta di 4 componenti distinte:

- Previsione della tipologia del fenomeno franoso potenziale atteso;
- Previsione dell'area che coinvolgerà il fenomeno;
- Previsione dell'intensità o magnitudo di tale fenomeno potenziale;

- Previsione dell'intervallo di tempo o determinazione delle condizioni meteorologiche in cui il fenomeno potenziale si può innescare.

Le metodologie sviluppate non hanno ancora condotto all'identificazione di procedure univoche e condivise a livello nazionale. L'intero processo che dal riconoscimento e classificazione del fenomeno franoso porta alla valutazione della pericolosità deve tener conto di quattro punti cardini:

- Le frane lasciano caratteri morfologici evidenti;
- I meccanismi che determinano le frane sono controllati da leggi fisiche che possono essere determinate empiricamente, statisticamente o in modo deterministico;
- Il passato ed il presente sono la chiave per il futuro;
- L'occorrenza delle frane, nello spazio e nel tempo, può essere dedotta da investigazioni di tipo euristico e statistico, elaborate attraverso l'analisi di informazioni ambientali, o dedotte da modelli fisici.

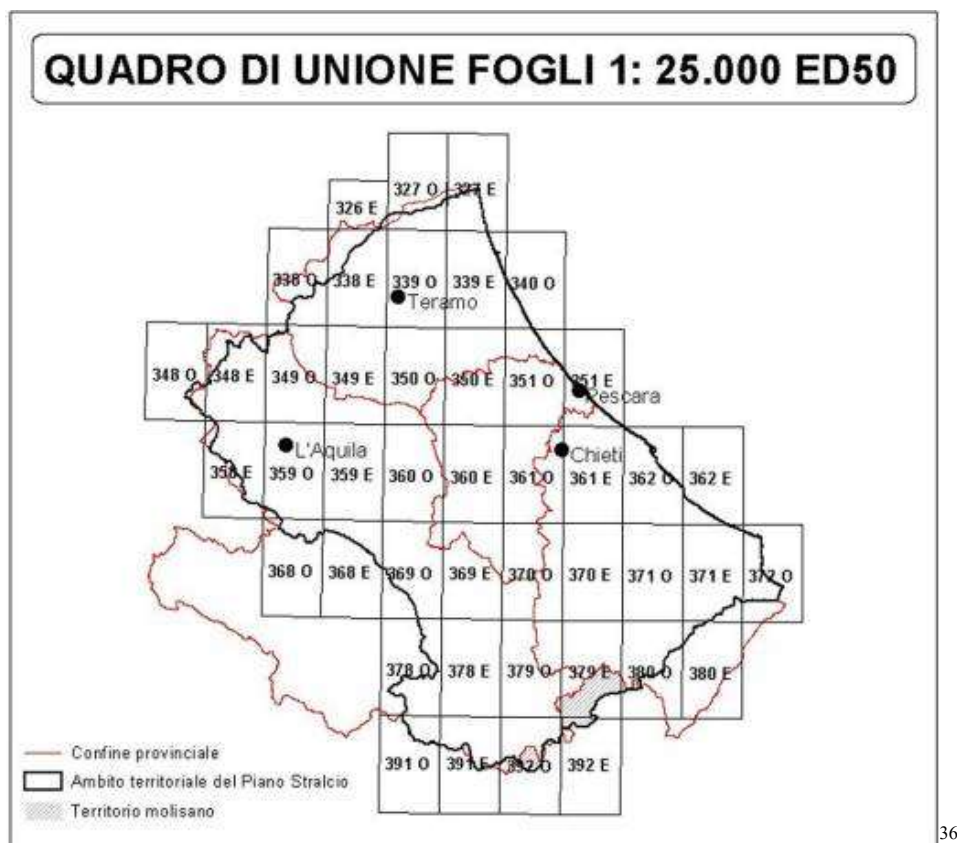
I primi elaborati del PAI redatti dalle Autorità di bacino indicarono quali aree pericolose esclusivamente quelle interessate da fenomeni di riattivazione. Ciò costituisce una grave limitazione della esaustività degli strumenti di pianificazione territoriale specifici, soprattutto quando si fa riferimento a fenomeni quali le colate rapide di fango e detrito.

Conformemente al D.L. 180/98 e al DPCM 29/09/98, le Autorità di bacino hanno, con poche eccezioni, tralasciato l'obiettivo di valutare magnitudo, tempi di ritorno e la suscettibilità al transito e all'accumulo. Inoltre, le sostanziali differenze metodologiche utilizzate per la stesura dei PAI hanno reso i risultati degli studi particolarmente difformi e quindi non paragonabili tra loro, con conseguente difficoltà da parte dell'amministrazione centrale dello Stato nel distribuire i fondi per la mitigazione del rischio secondo una scala di priorità oggettive.

La pericolosità da frana può essere individuata attraverso il monitoraggio attento e continuo ha come obiettivi:

- L'identificazione della profondità della superficie del movimento franoso per valutarne il volume;
- L'identificazione dell'eventuale esistenza di movimenti in atto e la loro collocazione spazio-temporale;
- Il controllo degli aspetti idrogeologici della frana.

Nello studio condotto sul territorio teramano, si fa riferimento all'insieme dei fogli cartografici della regione Abruzzo, scegliendo i singoli elaborati in funzione all'area richiesta.



36

Tramite la gestione del territorio e del consumo di suolo da parte dell'amministrazione, si pongono delle aree a maggior rischio idrogeologico, così come fatto dal progetto PAI. Le limitazioni d'uso mirano a ridurre la presenza di beni dove il livello di rischio è elevato; attraverso le norme di salvaguardia, i Piani di Bacino impediscono l'espansione urbanistica in queste aree. Il Piano di Emergenza prevede anche una fase di previsione dell'evento, allontanando per tempo la popolazione e beni di pregio dall'area minacciata. Questi contengono: il progetto del sistema di preannuncio, la definizione delle soglie per far scattare i provvedimenti, individuazione di aree di emergenza e vie di esodo. Strutture fondate sul corpo di frana sono vulnerabili prima del collasso, a causa dell'effetto formativo. Le due strategie nella previsione del collasso sono:

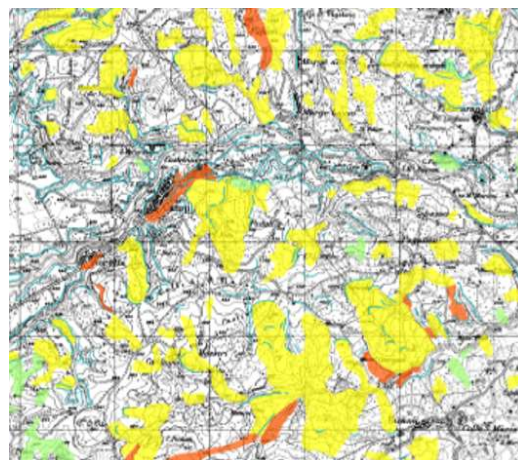
- Controllo degli spostamenti, tramite strumenti o evidenze morfologiche;
- Controllo del fattore innescante.

<sup>36</sup> La documentazione sui Piani è reperibile online, per la regione Abruzzo sul sito: <http://autoritabacini.regione.abruzzo.it/index.php/pai>  
I file sono in formato pdf, attualmente in fase di aggiornamento

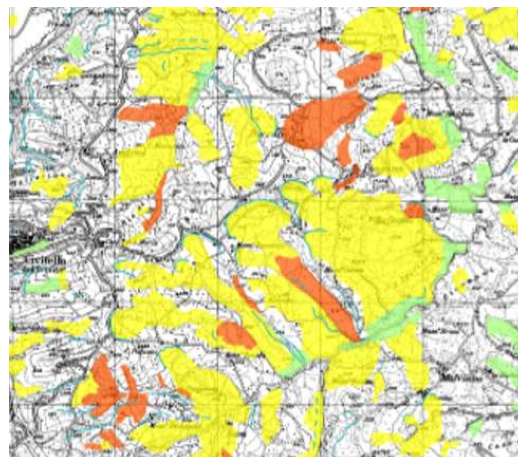


Non essendo ancora chiari i legami meccanici fra gli spostamenti ed il coefficiente di sicurezza, è difficile passare all'esame delle misure alla previsione di collasso.

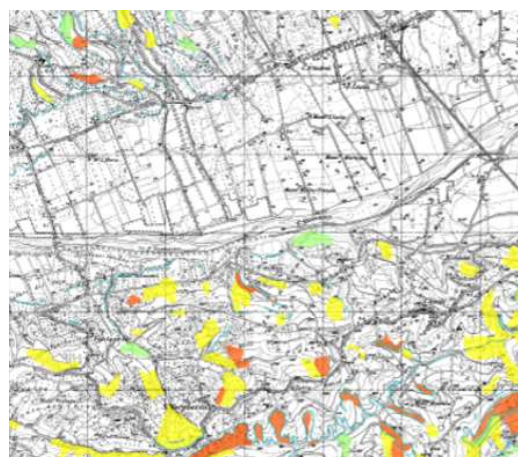
In particolare, il comune di Campi è coperto interamente dal foglio 339 Ovest, in cui si riscontrano numerosi corpi di frana a rischio elevato in giallo (R3), con particolare interesse proprio per il centro abitato, posto ai limiti di una frana a rischio molto elevato in arancio (R4).



Il comune di Civitella del Tronto è situato più a Nord, verso il confine regionale, e rientra nel foglio 339 Ovest e solo parzialmente nel foglio 338 Est; la località di Ponzano è nella parte orientale del centro abitato. Se ne trovano ampie zone a rischio elevato (R3) proprio in modo solidale al versante della collina su cui si sviluppa Ponzano.



Infine, il comune di Atri si sviluppa su più fogli differenti a causa della sua estensione. Il centro abitato principale ricade nel foglio 350 Est, mentre la località di Casoli si trova sul foglio 339 Est essendo a Sud del fiume Vomano. È netta la differenza tra l'area fluviale a rischio nullo e l'area collinare, con risalto puntuale di corpi a rischio molto elevato (R4).



## 5. Normativa vigente

### 5.1 La normativa NTC2008

La normativa nazionale cui si fa riferimento attualmente è la NTC 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni, entrate in vigore col decreto ministeriale del 14 gennaio 2008 grazie al Ministero delle Infrastrutture con il Ministero dell'Interno e il Dipartimento della Protezione Civile.

Il 2 febbraio 2009 entrò in vigore la circolare correttiva numero 617, Istruzioni per l'applicazione delle <<Nuove Norme tecniche per le Costruzioni>>, ad opera del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, con cui si è cercato di fornire agli operatori indicazioni, elementi informativi ed integrazioni, per una più agevole ed univoca applicazione delle NTC2008. Queste raccolgono in un unico organico testo le norme prima distribuite in diversi decreti ministeriali; secondo la nuova "filosofia" di approccio introdotta, inoltre, lo studio delle strutture di un edificio va effettuato obbligatoriamente nel suo complesso e non più "per parti", rendendo di fatto indispensabile l'utilizzo di programmi automatici di calcolo.

Nell'articolo 1 della normativa si legge l'atto di approvazione del testo:

*“E' approvato il testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed alla legge 27 luglio 2004, n. 186, di conversione del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, allegato al presente decreto, ad eccezione delle tabelle 4.4.III e 4.4.IV e del Capitolo 11.7. Le presenti norme sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 settembre 2005”.*

#### 5.1.1 Alcuni stralci della normativa NTC

Il capitolo 6 titola “Progettazione Geotecnica”, infatti si riferisce alle tecniche e alle fasi di un progetto o una verifica di un'opera strutturale in grado di resistere alle spinte litologiche del terreno. Per ottenere la massima efficacia di un'opera bisognerà studiare il problema al contorno antecedente al progetto, ovvero le condizioni ambientali, geomorfologiche ed idrologiche che caratterizzano un'area interessata.

Con lo scopo di controllare la posa in opera, ma soprattutto di verificare la corrispondenza tra progetto e struttura, risulterà fondamentale il ruolo del monitoraggio; nel paragrafo 6.2.5 (monitoraggio del complesso opera-terreno) si legge:

*“Il monitoraggio del complesso opera-terreno e degli interventi consiste nella installazione di un'appropriata strumentazione e nella misura di grandezze fisiche significative - quali spostamenti, tensioni, forze e pressioni interstiziali - prima, durante e/o dopo la costruzione del manufatto.*

*Il monitoraggio ha lo scopo di verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati e di controllare la funzionalità dei manufatti nel tempo. Nell'ambito del metodo osservazionale, il monitoraggio ha lo scopo di confermare la validità della soluzione progettuale adottata o, in caso contrario, di individuare la più idonea tra le altre soluzioni previste in progetto.*

*Se previsto, il programma di monitoraggio deve essere definito e illustrato nella relazione geotecnica.”*

Il paragrafo 6.3.3 (modellazione geotecnica del pendio) ribadisce l'importanza dello studio a monte del progetto, ovvero la totalità delle indagini in sito ed in laboratorio del terreno stesso oltre che dell'ambiente circostante, definendo così l'insieme dei parametri geotecnici in grado di verificare la compatibilità tra la struttura di progetto e l'ambiente:

*“Le indagini devono effettuarsi secondo i seguenti criteri:*

- la superficie del pendio deve essere definita attraverso un rilievo plano-altimetrico in scala adeguata ed esteso ad una zona sufficientemente ampia a monte e valle del pendio stesso;*
- lo studio geotecnico deve definire la successione stratigrafica e le caratteristiche fisicomeccaniche dei terreni e delle rocce, l'entità e la distribuzione delle pressioni interstiziali nel terreno e nelle discontinuità, degli eventuali spostamenti plano-altimetrici di punti in superficie e in profondità.*

*La scelta delle tipologie di indagine e misura, dell'ubicazione del numero di verticali da esplorare, della posizione e del numero dei campioni di terreno da prelevare e sottoporre a prove di laboratorio dipende dall'estensione dell'area, dalla disponibilità di informazioni provenienti da precedenti indagini e dalla complessità delle condizioni idrogeologiche e stratigrafiche del sito in esame.”*

Allo stesso modo, risulterà fondamentale la verifica del progetto, descritta nel paragrafo 6.3.4 (verifiche di sicurezza), in grado di prevedere un'adeguata sicurezza alla fine della realizzazione dell'opera:

*“Il livello di sicurezza è espresso, in generale, come rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico, e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale.*

*Il grado di sicurezza ritenuto accettabile dal progettista deve essere giustificato sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.”*

A seguito delle suddette analisi delle condizioni, è possibile correlare la totalità dei dati di progetto, così come è descritto nel paragrafo 6.5.1 (i criteri generali di progetto), in cui è chiara l'importanza di una scelta dettagliata ed ottimale dell'opera in funzione dei dati acquisiti:

*“La scelta del tipo di opera di sostegno deve essere effettuata in base alle dimensioni e alle esigenze di funzionamento dell'opera, alle caratteristiche meccaniche dei terreni in sede e di riporto, al regime delle pressioni interstiziali, all'interazione con i manufatti circostanti, alle condizioni generali di stabilità del sito. Deve inoltre tener conto dell'incidenza sulla sicurezza di dispositivi complementari (quali rinforzi, drenaggi, tiranti e ancoraggi) e delle fasi costruttive. [...] Le indagini geotecniche devono avere estensione tale da consentire la verifica delle condizioni di stabilità locale e globale del complesso opera-terreno, tenuto conto anche di eventuali moti di filtrazione.”*

## **5.2 La normativa di ItaliaSicura**

Più recente è la normativa presentata da ItaliaSicura<sup>37</sup>, che si occupa di più campi differenti, specificando costi e ruoli di opere ed interventi non strutturali, tramite decreti legge proposti dal Ministero dell'Ambiente sempre con la stretta collaborazione degli altri ministeri. Si occupa in primo piano della sicurezza sul posto di lavoro, ma anche sulla modernizzazione di criteri e mezzi per lo sviluppo socio-economico in relazione all'ambiente.

### **5.2.1 Articoli sul dissesto idrogeologico di rilievo**

Una grande importanza assume una serie di articoli riguardo la centralizzazione delle nuove tecniche di sviluppo agrario, in particolare con incentivi per le nuove generazioni e i giovani disoccupati.

Di stretto interesse in merito al rischio idrogeologico è la recente evoluzione di normative. Il 24 giugno 2014 sulla Gazzetta Ufficiale viene approvato il Decreto Legislativo num.91 nella serie generale 192, in cui l'articolo 10 esprime le *"Misure straordinarie per accelerare l'utilizzo delle risorse e l'esecuzione degli interventi urgenti e prioritari per la mitigazione del rischio idrogeologico nel territorio nazionale e per lo svolgimento delle indagini sui terreni della Regione Campania destinati all'agricoltura"*. Questo indica come procedere nei casi di emergenza e per evitare l'incremento del rischio frana di una determinata zona, oltre che definire i ruoli di gestione e competenze di determinati enti nazionali.

<sup>37</sup> La sua normativa in vigore è ottenibile dal sito ufficiale direttamente dal link: <http://italiasicura.governo.it/site/home/dissesto/normativa.html>.

Il 22 luglio 2014 la Corte dei Conti approva il Decreto da parte del Ministero che istituisce un'apposita struttura in grado di coordinare gli interventi urgenti in materia di dissesto idrogeologico, di difesa e messa in sicurezza del suolo, di sviluppo delle infrastrutture idriche, in modo da assicurare l'integrazione delle fasi relative alla programmazione e alla realizzazione degli interventi. L'articolo 1 titola *“Istituzione della Struttura di missione contro il dissesto idrogeologico e per lo sviluppo delle infrastrutture idriche”*.

Il Decreto Legislativo del 12 settembre 2014 num.133 presenta una serie di articoli, raggruppati in capi, in cui si descrivono delle misure di aggiornamento e modernizzazione di lavori pubblici e burocratici, per questo è denominato *“misure urgenti per la riapertura dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l'emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive”*.

Si evidenzia il capo III (misure urgenti in materia ambientale e per la mitigazione del dissesto idrologico) in cui l'articolo 7 racchiude:

*“Norme in materia di gestione di risorse idriche. Modifiche urgenti al decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, per il superamento delle procedure di infrazione 2014/2059, 2004/2034 e 2009/2034, sentenze C-565-10 del 19 luglio 2012 e C-85-13 del 10 aprile 2014; norme di accelerazione degli interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico e per l'adeguamento dei sistemi di collettamento, fognatura e depurazione degli agglomerati urbani; finanziamento di opere urgenti di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua nelle aree metropolitane interessate da fenomeni di esondazione e alluvione”*.

Allo stesso tempo l'articolo 8 descrive le opere di scavo:

*“Disciplina semplificata del deposito preliminare alla raccolta e della cessazione della qualifica di rifiuto delle terre e rocce da scavo che non soddisfano i requisiti per la qualifica di sottoprodotto. Disciplina della gestione delle terre e rocce da scavo con presenza di materiali di riporto e delle procedure di bonifica di aree con presenza di materiali di riporto”*.

Infine si dà importanza al Decreto del 14 luglio 2016, del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, che istituisce un fondo per lo sviluppo e la coesione per l'assegnazione di competenze e risorse contro il rischio idrogeologico.

## 6. Un nuovo approccio: prima dell'evento

*Prevenire è meglio  
che curare.*

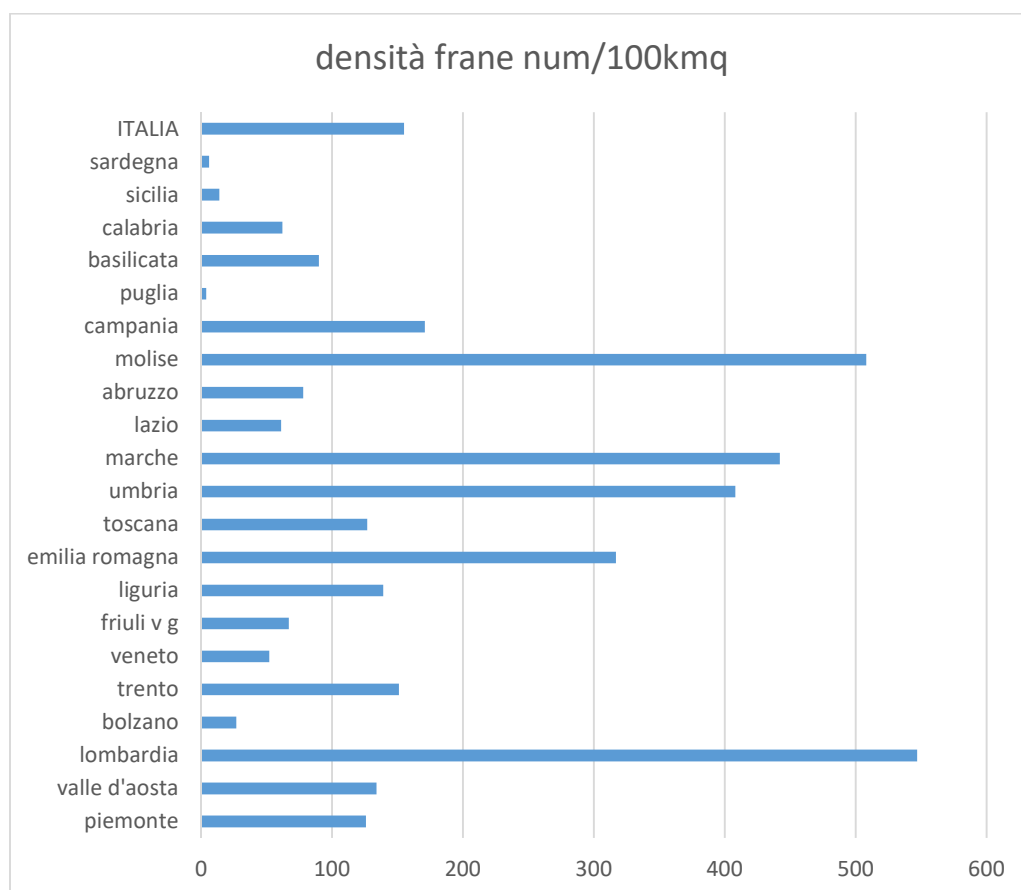
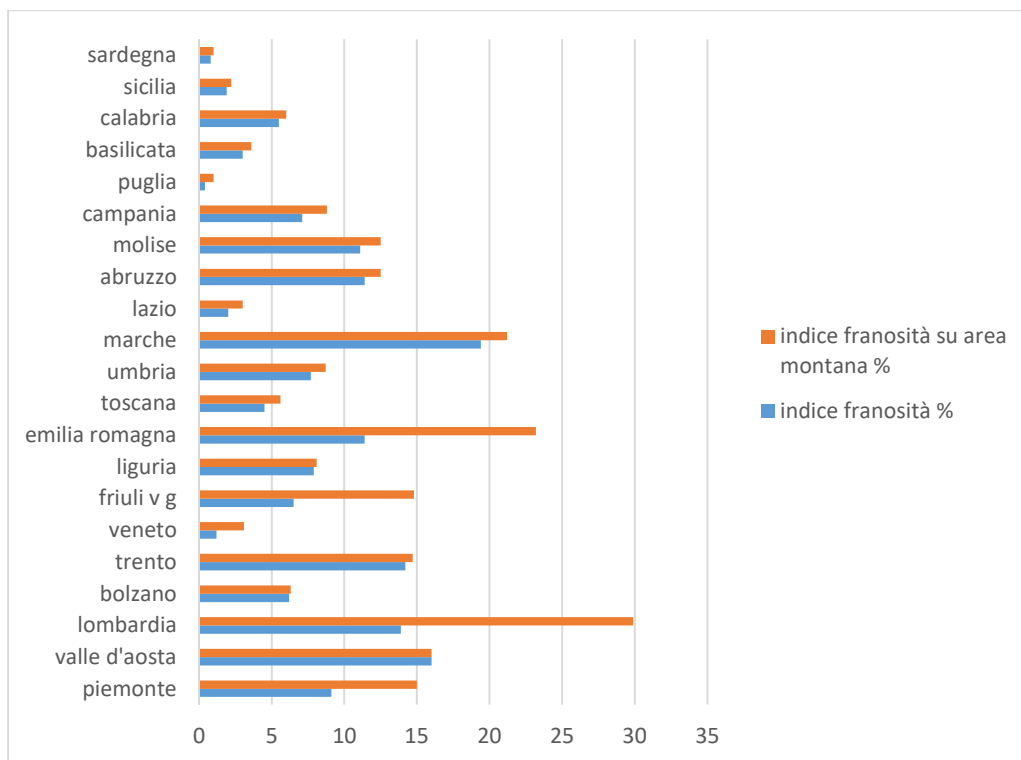
Dopo una presentazione dello stato di crisi in caso di evento calamitoso e dissesto idrogeologico, è chiaro che bisogna necessariamente intervenire, ma non è troppo tardi aspettare che una frana si sviluppi per poi andare a riparare i danni, seppur irreversibili, sull'ambiente e diretti alla popolazione? Perché soffermarsi a tirare le somme, contare i morti e valutare i danni strutturali dopo un dissesto?

### 6.1 Mitigazione, prevenzione e resilienza

L'entità dei danni prodotti dalle catastrofi legate alle dinamiche climatiche è in aumento a livello globale, il quadro italiano non è meno preoccupante. In Italia il dissesto da frana e inondazione è diffuso in modo capillare. Tale condizione è determinata principalmente dalla conformazione geologica e geomorfologica caratterizzata da un'orografia giovane e da rilievi tutt'ora in via di sollevamento. Le aree a elevata criticità idrogeologica rappresentano il 10% della superficie nazionale e l'89% dei comuni. Nelle aree a elevata criticità idrogeologica si trovano circa 1,2 milioni di edifici e 5,8 milioni di persone. Delle 56600 frane che hanno provocato danni, la maggior parte, circa il 43%, ha interessato infrastrutture di trasporto o terreni agricoli, il 27%.

aree in frana distinte per regione					
REGIONE	NUM FRANE	DENSITA' FRANE	AREA INTERESSATA	IND FRANOSITA'	IND FRAN SU AREA MONTANA
	num	num / 100 km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	%
piemonte	35023	126	2540	9.1	15
valle d'aosta	4359	134	520	16	16
lombardia	130538	547	33308	13.9	29.9
bolzano	1995	27	463	6.2	6.3
trento	9385	151	879	14.2	14.7
veneto	9476	52	223	1.2	3.1
friuli v g	5253	67	511	6.5	14.8
liguria	7515	139	425	7.9	8.1
emilia romagna	70037	317	2511	11.4	23.2
toscana	29208	127	1035	4.5	5.6
umbria	34545	408	651	7.7	8.7
marche	42522	442	1882	19.4	21.2
lazio	10548	61	398	2	3
abruzzo	8493	78	1241	11.4	12.5
molise	22527	508	494	11.1	12.5
campania	23430	171	973	7.1	8.8
puglia	843	4	85	0.4	1
basilicata	9004	90	298	3	3.6
calabria	9417	62	822	5.5	6
sicilia	3657	14	500	1.9	2.2
sardegna	1523	6	188	0.8	1
ITALIA	469298	155	19946	6.6	8.9

fonte: ISPRA, 2007



Tale scenario indica l'assoluta necessità di messa in sicurezza di territori che, sebbene fragili dal punto di vista ambientale, risultano assai dinamici ed attrattivi dal punto di vista economico e turistico.



Il Rapporto della Commissione De Marchi del 1970 è una celebre ed autorevole relazione che ebbe il merito di porre le basi per una legge nazionale sulla tutela del suolo che vide la luce soltanto 19 anni dopo (L.183 del 19 maggio 1989 – norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo). Negli anni '90, il Progetto AVI<sup>38</sup>, commissionato dal Ministro per il Coordinamento della Protezione Civile al Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), aveva realizzato il censimento delle aree del paese colpite da frane e da inondazioni per il periodo 1918-1990. Questo rappresentò il più completo ed aggiornato archivio di notizie su frane e inondazioni avvenute nel secolo passato realizzato in Italia fino ad allora. All'inizio degli anni '90 il Servizio Geologico Nazionale pubblicò il rapporto "Il dissesto geologico e geoambientale in Italia del dopoguerra al 1990", in cui sono esposte informazioni sul dissesto geologico e geoambientale in Italia sotto il profilo del dato quantitativo e delle interazioni sociali. Con il "Rapporto sulle frane in Italia" del 2007, l'Ispra fornì i risultati del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) che ha come obiettivo l'identificazione e la mappatura dei movimenti franosi sull'intero territorio nazionale secondo modalità standardizzate e condivise.

La sensibilizzazione dell'opinione pubblica costituisce uno strumento indispensabile per la lotta alle condizioni di dissesto del territorio. In questo senso sono fondamentali le iniziative dei media che utilizzano anche gli strumenti più avanzati per promuovere l'informazione sul tema.

Bisogna capire come intervenire per ottimizzare la gestione del rischio geo-idrologico, definendo una prima fase di previsione, ovvero di descrizione spaziale e temporale del rischio, seguita dalla fase di prevenzione, che individua gli interventi volti alla riduzione della probabilità che si verifichi un evento calamitoso e di mitigazione, cioè l'attuazione della fase precedente attraverso interventi di tipo strutturale o gestionale.

La previsione raccoglie le attività dirette allo studio del territorio fornendo indicazioni per gestire le emergenze e scegliere gli interventi necessari; comprende le azioni volte sia al preannuncio di fenomeni calamitosi con adeguata tempistica e alla valutazione delle situazioni di criticità attese, sia al monitoraggio e alla sorveglianza degli eventi e dei loro effetti.

Alla prevenzione e la mitigazione appartengono gli interventi strutturali di messa in sicurezza, il consolidamento dei dissesti idrogeologici, la sistemazione dei corsi d'acqua, l'adeguamento strutturale di edifici e infrastrutture in funzione della normativa vigente, il potenziamento del sistema di soccorso, la riduzione dell'esposizione di beni e persone.

---

<sup>38</sup> Il progetto AVI: Aree Vulnerate Italiane, commissionato dal Ministro per il Coordinamento della Protezione Civile al Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) allo scopo di realizzare un censimento delle aree storicamente vulnerate da calamità geologiche (frane) ed idrauliche (piene) (<http://avi.gndci.cnr.it/>).

Gli organi dello Stato preposti alla definizione delle condizioni di pericolosità a rischio idrogeologico, quindi nella definizione della pericolosità di un'area, sono in primo luogo le Autorità di bacino, istituiti nel 1989 per consentire interventi di pianificazione integrata a scala di bacino idrografico, superando le frammentazioni di competenza e istituzionali, secondo un'impostazione ormai propria di tutti i maggiori stati europei. Tutto il territorio nazionale è stato suddiviso in bacini idrografici, i quali hanno tre gradi di rilievo territoriale: bacini di rilievo nazionale, bacini di rilievo interregionale, bacini di rilievo regionale. In attesa dell'approvazione del Piano di bacino, l'Autorità opera avvalendosi di altri strumenti quali: gli schemi previsionali e programmatici, i piani di stralcio e le misure di salvaguardia. Lo Schema previsionale e programmatico costituisce lo strumento per l'individuazione, il coordinamento e la programmazione delle attività nel settore dell'assetto del territorio con riferimento alla difesa del suolo in attesa dell'adozione del piano di bacino.

Con il decreto legislativo 152/2006, "Norme in materia ambientale", si è compiuto un ulteriore passo verso il modello europeo, con la ripartizione del territorio nazionale in otto distretti idrografici, in generale come aggregazione dei bacini preesistenti. Prevede, per ciascun distretto, l'elaborazione di un Piano di bacino e ne attribuisce la competenza alla redazione ad Autorità di bacino distrettuali, definite giuridicamente come enti pubblici non economici.

Il ruolo delle Regioni e degli Enti Locali è ritenuto di primaria importanza, perché le cause e le conseguenze di tali fenomeni sono influenzati notevolmente dalle caratteristiche fisiche e geomorfologiche di territori circoscritti.

La prevenzione dai rischi naturali contempla tutte le misure da realizzare in anticipo rispetto all'accadimento di un potenziale fenomeno al fine di diminuire o evitare i danni. Sono azioni di carattere strutturale, come opere di ingegneria, miglioramenti architettonici, e non strutturale, come la legislazione e normative sugli usi del suolo in zone di rischio, diffusione di norme comportamentali.

Tuttavia, da alcuni anni, grazie anche all'opera delle Nazioni Unite, si è affermato il concetto di *resilienza*, che indica la capacità di un sistema, comunità o società esposte a rischi di resistere, assorbire, adattarsi e riprendersi dagli effetti di un pericolo in modo tempestivo ed efficiente, anche attraverso la conservazione e il restauro delle sue strutture e funzioni essenziali di base. È un approccio di risposta al rischio sviluppato negli anni '90, successiva ai metodi di "Adaptation" e "Sustainability".

L'adozione di questo concetto da parte di organismi sovranazionali rispecchia la necessità generale di conseguire un maggior equilibrio tra uomo e ambiente, dando un nuovo impulso alla linea di pensiero che mira a conseguire la messa in sicurezza del territorio attraverso un maggior equilibrio tra misure strutturali e non strutturali. Viene così promosso un percorso che parte dalla comprensione scientifica del fenomeno avvenuto, passa per la valutazione della

potenzialità di accadimento di fenomeni futuri, esegue un bilancio costi/benefici tra diverse soluzioni e giunge all'adozione delle più adeguate misure di mitigazione. Si passa, quindi, da un concetto di vulnerabilità a quello di resilienza secondo un cambiamento culturale. Il primo intento il grado di potenziale perdita, influenzata da minacce esterne, a cui si può rispondere solo con concetti di adattamento e flessibilità, ovvero comportamenti passivi rispetto al rischio idrogeologico.

L'incremento della resilienza come azione di mitigazione ed adattamento ai rischi naturali si basa sia sulla riscoperta di usi e tecniche tradizionali, utilizzati nella fase pre-industriale della nostra società, ma anche sulle tecnologie più avanzate. Risulta necessario finanziare la manutenzione dei versanti e degli impluvi, favorendo l'uso di tecniche tradizionali più leggere e gli interventi a basso impatto ambientale come quelli di Ingegneria Naturalistica.

Nell'ambito degli interventi non strutturali, le azioni da mettere in campo sono numerose:

- Sviluppare i sistemi di monitoraggio dei dati meteorologici;
- Sostenere economicamente l'approfondimento degli studi sulla pericolosità e sul rischio condotti dalle Autorità di bacino e contenuti nei Piani di Assetto Idrogeologico;
- Migliorare il recepimento delle indicazioni contenute nei PAI da parte degli strumenti di pianificazione territoriale;
- Implementare i Piani di Protezione Civile in sinergia con gli studi sulla pericolosità e sul rischio;
- Promuovere la riconversione delle aree montane e golenali;
- Sostenere economicamente e culturalmente la delocalizzazione degli insediamenti a maggior rischio;
- Sostenere la ricerca del settore;
- Sviluppare competenze specifiche;
- Migliorare la cooperazione e la sinergia fra i diversi attori, pubblici e privati che operano nella difesa del suolo.

La gestione del rischio idrogeologico si basa su tre livelli di amministrazione territoriale: le Regioni, le Province e i Comuni.

Riguardo alla previsione, le Regioni agiscono a brevissimo termine, con sistemi di monitoraggio dei rischi e azioni di preannuncio e allertamento per eventi calamitosi attesi. Riguardo alla prevenzione agiscono a lungo termine con norme urbanistiche e territoriali, politiche di protezione e conoscenza del territorio e dei suoi rischi, formazione a tutti i livelli e simulazioni di evento e a breve-medio termine attraverso l'attività di pianificazione e realizzazione di opere di difesa del suolo, di ingegneria naturalistica e sismica per mitigare il rischio. Esse cooperano nella pianificazione di emergenza degli Enti Locali, nella gestione delle emergenze del Servizio

Nazionale della Protezione Civile e nelle azioni di ritorno alle normalità, predisponendo piani di ripristino relativi al ritorno alle normali condizioni di vita.

Le Province partecipano all'organizzazione ed all'attuazione del Servizio Nazionale Protezione Civile, assicurando lo svolgimento dei compiti relativi alla rilevazione, alla raccolta ed alla elaborazione dei dati interessanti la protezione civile, alla predisposizione di programmi provinciali di previsione e prevenzione e alla loro realizzazione, in armonia con i programmi nazionali e regionali. A qualsiasi livello, è indispensabile aggiornare continuamente la programmazione di attività in funzione degli eventi e dei nuovi elementi conoscitivi disponibili. Questa revisione viene svolta dalla Provincia anche in fase di redazione dei piani di emergenza.

I Comuni sono interessati sia all'organizzazione preventiva delle attività di controllo e monitoraggio che all'adozione dei provvedimenti di emergenza indirizzati, soprattutto alla salvaguardia delle popolazioni. Il Sindaco assume la direzione ed il coordinamento dei servizi di soccorso in ambito comunale e ne dà comunicazione al Presidente della Giunta Regionale, al Prefetto e al Presidente della Provincia. In particolare, le principali competenze e responsabilità del Sindaco sono:

- Organizzare una struttura operativa comunale per assicurare i primi interventi di protezione civile;
- Attivare i primi soccorsi alla popolazione e gli interventi urgenti necessari a fronteggiare l'emergenza;
- Fornire adeguata informazione alla cittadinanza sul grado di esposizione al rischio;
- Provvedere alla vigilanza sull'insorgere di situazioni a rischio idrogeologico;
- Assicurare una reperibilità finalizzata alla ricezione di comunicazioni di allerta;
- Individuare siti sicuri da adibire al preventivo e/o temporaneo ricovero per la popolazione esposta.

Il Piano di emergenza redatto dall'ufficio tecnico comunale e da professionisti di settore, deve prevedere l'utilizzo di tutte le risorse tecniche, assistenziali e sanitarie presenti nella provincia con l'integrazione, in caso di necessità, delle risorse reperibili in ambito regionale.

I Piani di Esposizione al Rischio (PER) regolano l'uso del territorio a livello comunale con tre strategie di prevenzione:

- Aumento delle soglie di rischio socialmente accettabile;
- Mitigazione del rischio con interventi strutturali per ridurre la pericolosità;
- Mitigazione del rischio con interventi non strutturali per ridurre il danno potenziale.

Al costo di ogni intervento può essere associato un beneficio in termini di riduzione del rischio, espresso dalla diminuzione del costo annuo dei danni provocati dalle frane con previsione del recupero del costo d'intervento. Le soglie di rischio consapevole tollerato sono in genere molto più elevate rispetto a quelle di rischio involontario. È possibile operare una campagna informativa nelle zone a rischio tramite:

- Uso di mezzi di comunicazione di massa;
- Diffusione di opuscoli con norme di comportamento in caso di emergenza;
- Assemblee presso enti competenti;
- Installazione di segnaletica;
- Polizze assicurative per coprire i danni economici.

Questi hanno costi modesti e possono essere adottate su ampie aree.

Il ricercatore Stefano Tibaldi, del CMCC<sup>39</sup>, ribadisce che, nella fase di previsione, è necessario capire che errori di sovrastima o sottostima di un evento monitorato hanno come conseguenza decisioni sbagliate, quindi portano nuovi danni, oltre quelli che il dissesto farebbe sul territorio. Perciò la gestione di una emergenza in corso è un'attività molto delicata e di grande responsabilità; non si può rimuovere una componente di incertezza, per questo la previsione non è mai perfetta e va trattata come tale, affiancata sempre dalla valutazione della stima di errore.

Il prof. Gianfranco Urciuoli, dell'Università di Napoli Federico II, scrive in un articolo del 2012: *“Nelle aree libere da insediamenti gli elevati livelli di pericolosità comportano limitazioni allo sviluppo urbanistico ed economico. La necessità di mitigare il rischio di frana è contrastata dalla limitatezza delle risorse economiche, a cui si può far fronte ricorrendo ad una vasta gamma di strategie meno onerose”*.

Negli interventi di mitigazione dal rischio frane rientrano opere strutturali e non strutturali, a partire dalla gestione amministrativa del territorio. Prima di intraprendere decisioni inerenti alla pianificazione territoriale o realizzare opere di qualsiasi tipo, è necessario eseguire studi di dettaglio al fine di valutare le condizioni di stabilità dei versanti e quantificare la loro influenza sulla pericolosità ed il rischio, anche valutando le energie attese e, se necessario, predisporre sistemi di monitoraggio per valutare l'evoluzione temporale e spaziale dei fenomeni stessi.

Per evitare di innescare i movimenti franosi è necessario porre attenzione alle aree a rischio evitando la costruzione sulla parte superiore della frana ed evitare la realizzazione di sbancamenti o scavi nella parte inferiore della massa.

Uno dei metodi utilizzati per proteggere le strutture e la popolazione a valle di un pendio roccioso a rischio di frana sono reti, rilevati e barriere paramassi, interventi passivi in grado di frenare i blocchi in movimento ed evitare che questi raggiungano le strutture sottostanti. Gli interventi principali per ridurre la resistenza a tagli mobilitata a basso costo sono:

- Sbancamenti, opere di scavo eseguite a monte della massa di terreno a rischio;
- Riprofilature, riduzione dell'inclinazione del pendio per mezzo dell'allontanamento di materiale;

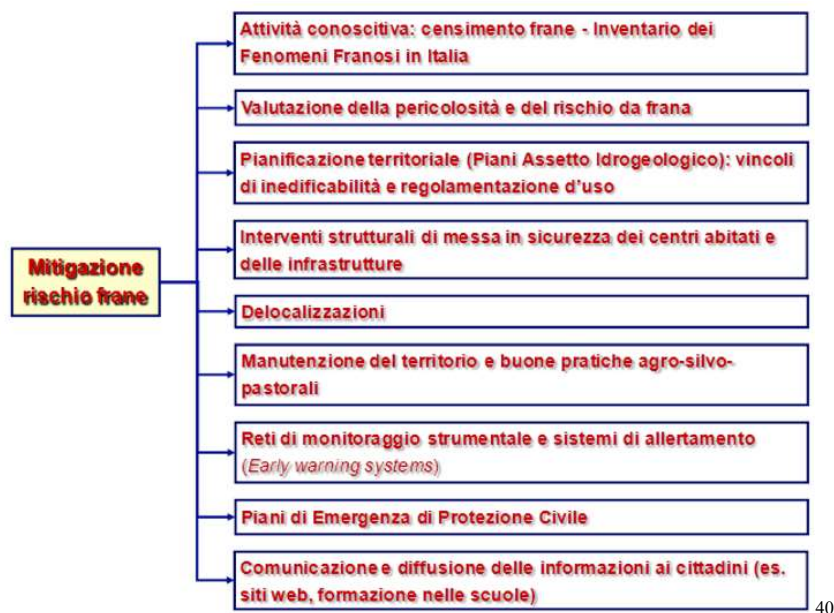
---

<sup>39</sup> CMCC: Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (<https://www.cmcc.it/it/>).

- Allontanamento di massi pericolanti, allontanando dal versante le parti più pericolose e più difficilmente stabili;
- Riduzione dell'erosione al piede del versante da parte dei corsi d'acqua, finalizzati a ridurre l'effetto dannoso che ha l'erosione nei confronti della stabilità del pendio e possono essere opere longitudinali o trasversali;
- Opere di sostegno al piede del versante, rilevati in grado di sorreggere il pendio sovrastante;
- Sistemazioni idraulico-forestali, divisi in:
  - a. Rimboschimento,
  - b. Opere di drenaggio superficiale,
  - c. Opere di drenaggio profondo.

Gli interventi in grado di migliorare la resistenza intrinseca di un materiale la resistenza intrinseca di un materiale agli sforzi esterni meno economici sono:

- Iniezioni di miscele consolidanti, ulteriore coesione derivante dalla cementazione;
- Stabilizzazione chimica, permette di cambiare le caratteristiche del materiale;
- Elettro-osmosi ed elettro-silicatazione, allontanamento dell'acqua tramite il passaggio di corrente elettrica nel terreno preceduta dall'introduzione di una soluzione di silicato di sodio.
- Congelamento, con un'azione di cementazione temporanea.



Le opere non strutturali hanno costi modesti e possono essere adottate su ampie aree. Si è largamente discusso sulle tipologie di queste allo scopo di mitigare il rischio e si sottolineano i costi economici che sono richiesti per la loro realizzazione. Infatti le opere strutturali sono

<sup>40</sup> Schema sintetico delle opere strutturali e non strutturali di mitigazione dal rischio frane (da ISPRA).

giustificate solo in caso di rischio eccezionale, perché richiedono modifiche delle condizioni geometriche dei pendii da stabilizzare. In aree di pregio paesaggistico si utilizzano tecniche di bio-ingegneria, che produce effetti positivi attraverso l'intercettazione dell'acqua di precipitazione garantendo uno smaltimento progressivo delle acque ed una riduzione delle pressioni interstiziali di picco.

## 6.2 Il monitoraggio

L'attività di controllo, monitoraggio sulla riduzione degli impatti e messa in sicurezza assumono una importanza prioritaria, aprendo la strada verso l'economia del futuro, nella quale il paradigma dello sviluppo sostenibile dovrà necessariamente assumere un ruolo centrale. Solo affrontando il tema in maniera sistemica si potrà superare la situazione generale di incompatibilità tra le politiche di sviluppo socio-economico fino ad oggi adottate e le dinamiche proprie dell'ambiente naturale.

L'esigenza di acquisire tramite le misure di controllo, dati affidabili sull'entità, la distribuzione nel pendio, l'evoluzione nel tempo dei movimenti e le pressioni neutre nasce da tre ordini di problematiche:

- La fase di analisi e la successiva progettazione dell'intervento;
- La verifica dell'efficacia, oltre che lo stato di efficienza dell'intervento;
- È l'unico strumento in grado di valutare in modo quantitativo le condizioni di pericolo di un'area in frana o potenzialmente instabile.

La differenza tra il monitoraggio e il controllo è che il primo si basa sulla raccolta del dato, misura ed osservazione di un fenomeno, quindi porta alla scelta dello strumento, l'ubicazione, l'installazione, misura ed elaborazione; mentre il secondo è l'interpretazione del dato misurato per la gestione di un fenomeno in atto, quindi si attuano le fasi di previsione e prevenzione, oltre che gestione del rischio tramite la descrizione analitica e numerica del rischio.

Nella messa in opera di un progetto strutturale si distinguono le tre fasi principali:

*Prima*, in cui bisogna definire le condizioni iniziali ambientali e, quindi, del terreno stesso, tramite prove in sito o in laboratorio, proponendo una previsione preliminare del rischio di dissesto in funzione alle frane eventualmente presenti nelle vicinanze;

*Durante*, in cui si verifica la sicurezza tramite il metodo osservazionale e le difficili fasi di protezione legale, computo metrico e acquisizione del consenso pubblico.

*Dopo*, in cui l'ingegnere ha il compito di controllare le condizioni di sicurezza e le attività di gestione dell'opera, che deve essere in grado di resistere per tutta la durata di vita.



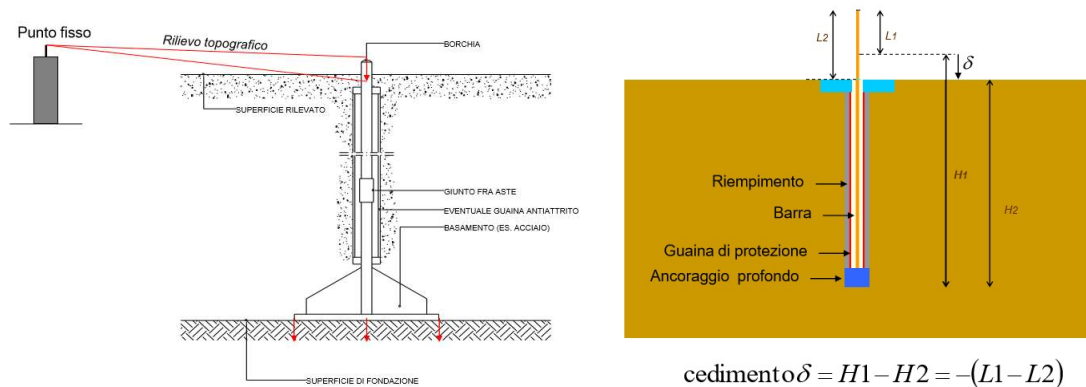
Il metodo osservazionale di Peck (1969) si basa sul seguirsi di determinate fasi:

- Indagini, per definire natura, distribuzione e proprietà dei terreni in sito;
- Valutazione delle condizioni, sia le più probabili sia le sfavorevoli che si possono immaginare;
- Progetto, sulla base delle ipotesi di lavoro in condizioni di maggior probabilità;
- Scelta della quantità da monitorare, con previsione dei valori sulla base delle ipotesi iniziali;
- Calcolo, delle quantità monitorate ma con le ipotesi più sfavorevoli;
- Previsione delle azioni, da intraprendere durante la messa in opera per le possibili deviazioni dal progetto iniziale;
- Monitoraggio, con valutazione delle condizioni effettive;
- Modifiche costruttive, per adeguare l'opera in costruzione alla deviazione calcolata adattandola alla variazione.

Bisogna sottolineare che strumenti sbagliati nei posti sbagliati producono informazioni confuse ed inspiegabili, o possono distogliere l'attenzione da altri indizi associati a preoccupanti comportamenti della struttura geotecnica, quindi risulta necessario verificare che ogni strumento sia scelto e posizionato per aiutare a rispondere ad una specifica domanda.

In tal proposito, gli strumenti possono essere caratteristici per una misura di spostamento verticale oppure spostamento orizzontale. Inoltre, si utilizzano strumenti più specifici in base alla fase in atto.

Gli estensimetri da rilevato sono usati durante la costruzione per il monitoraggio degli spostamenti verticali, mentre dopo la costruzione si usano estensimetri da foro fissi a punto singolo (SPBX) oppure a multibase (MPBX) e a sonda mobile.

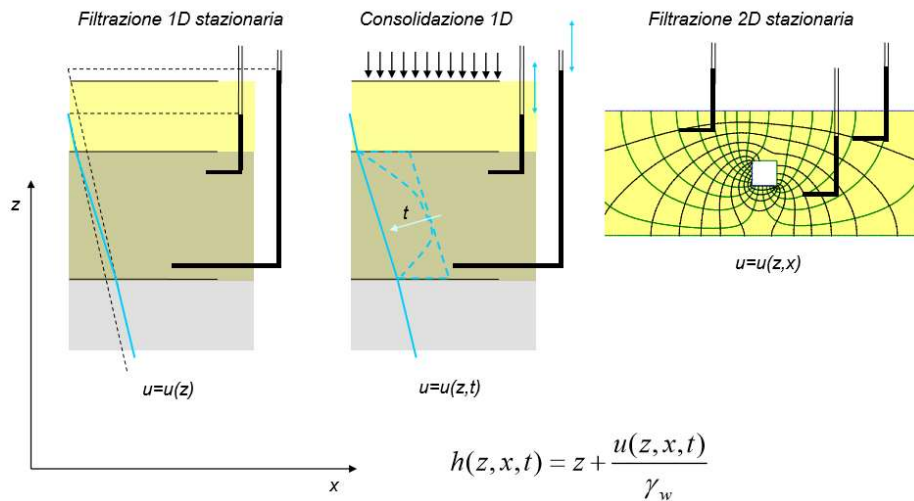


<sup>41</sup> A sinistra: schema di funzionamento dell'estensimetro da rilevato; a destra: schema di funzionamento dell'estensimetro da foro fissi a punto singolo.

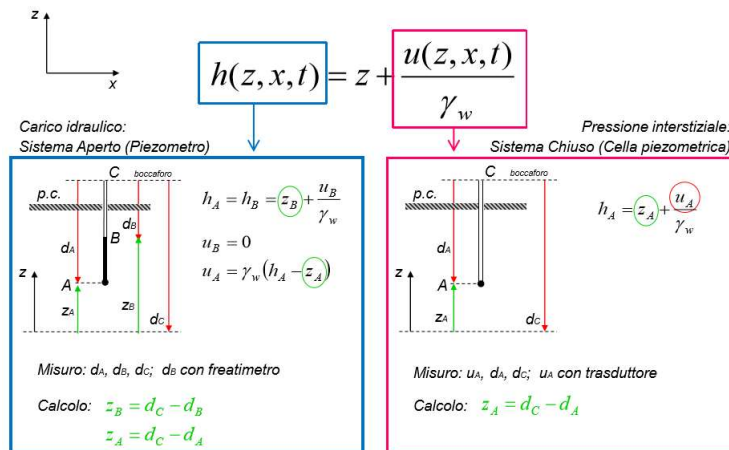
L'inclinometro è in grado di misurare l'inclinazione dell'asse della sonda rispetto alla verticale, quindi valutare gli spostamenti orizzontali. È composto da un tubo inclinometro flessibile, solidale col terreno adiacente, capace di ospitare i sensori al suo interno; funziona con un cavo elettrico metrato che sostiene la sonda in profondità permettendo la lettura digitale; quindi è necessaria la presenza della centralina di misura, che acquisisce i dati, alimenta le componenti elettriche e visualizza il segnale di misura.

Il corretto funzionamento degli inclinometri si basa sullo svolgimento di determinati passaggi, di cui i più importanti sono: stabilire una relazione tra misura e spostamento con una curva analitica di taratura ed eventuali errori del sistema e calcolare gli spostamenti rappresentandoli.

Per un quadro più chiaro risulta necessaria la conoscenza delle pressioni interstiziali sotto falda, così da valutare anche la cinetica del sistema, ovvero la filtrazione stazionaria mono e bi-dimensionale oltre che la consolidazione.



A questo scopo si utilizza l'apposita strumentazione, distinguendo un sistema aperto da uno chiuso. Il primo rileva la posizione del livello d'acqua entro un tubo tramite lo spostamento di elevati volumi d'acqua (in dm<sup>3</sup>); il secondo è la misura diretta della pressione del fluido interstiziale in un punto tramite lo spostamento di piccoli volumi di acqua (in mm<sup>3</sup>).



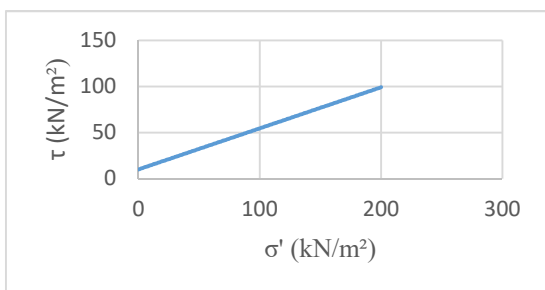
Nei sistemi aperti si utilizzano piezometri con punto di misura singolo, con la valutazione del sigillo, il tempo di risposta con le variazioni delle pressioni interstiziali, i coefficienti d'ingresso e le condizioni iniziali e la conducibilità idraulica. Nei sistemi chiusi invece si utilizzano le celle piezometriche, con la misurazione diretta della pressione assoluta o relativa mediante il trasduttore di pressione, distinto in corda vibrante, pneumatico, elettrico o piezoelettrico.

## 7 Ipotesi di intervento sulle frane in analisi

*Fate come gli alberi,  
cambiate le foglie ma conservate le radici.  
Quindi cambiate le vostre idee,  
ma conservate i vostri principi.*  
(Victor Hugo)

Si riprendono le tre frane nel teramano analizzate, per una simulazione di intervento. Non è stato possibile compiere rilievi geotecnici, per cui ci si affida a dati riportati da ricercatori geologici in precedenza incaricati dagli enti amministrativi locali. Si traccia, per ogni dissesto, un'ipotesi di superamento del fattore di sicurezza calcolando le condizioni ambientali e si propone una soluzione d'intervento tra le opere analizzate cercando di stabilizzare il versante e mettere in condizioni di salvaguardia gli elementi antropici nelle vicinanze minacciati dall'attivazione.

Il comune di Campli, quindi anche la vicina Castelnuovo, si sviluppa su un'altura di argilla emersa limosa, per una profondità di circa 400 m dal piano campagna, quindi si considera un terreno omogeneo con parametri tipici:



- Coesione  $c' = 10 \text{ kN/m}^2$
  - Angolo di taglio  $\phi' = 24^\circ$
- $$\tau_f = 10 + \sigma'_f * \tan(24^\circ)$$

Ma in particolare è doveroso studiare il problema a breve termine, quindi con il metodo dell'equilibrio limite dei cunei. Si impone la resistenza a taglio a breve termine  $C_u = 160 \text{ kPa}$ , valore abbastanza alto per questo tipo di terreno, ma giustificato dalla compattezza dello stesso. Dai rilievi si ottiene approssimativamente la geometria del dissesto:

Peso specifico  $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$  considerando

l'argilla secca;

Raggio  $R = 107,9 \text{ m}$ ;

Braccio  $d = 61,3 \text{ m}$ ;

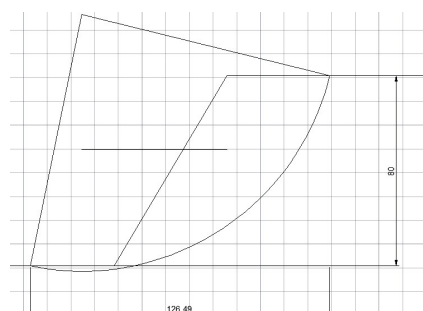
Angolo  $\theta = 88^\circ$ , quindi 1,53589 radianti;

Volume unitario  $V = 3341,6 \text{ m}^3$ .

Quindi il peso  $W = \gamma * V = 53465,6 \text{ kN}$ .

Se ne calcola il coefficiente di sicurezza

$$FS = \frac{C_u R^2 \theta}{W d} = 0,873$$



Si ottiene un valore già inferiore all'unità, per cui destabilizzato a causa della geometria. Ora si considera che la causa principale del dissesto fu la saturazione del terreno da parte dell'acqua, quindi un forte aumento del peso specifico, dato che si pone l'argilla umida (o satura)

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  aumentando il peso  $W$  fino a 66832 kN. Si ottiene il coefficiente di sicurezza della stessa superficie di scorrimento pari a  $F_s = 0,698$ , quindi un fenomeno di dissesto pressoché inevitabile nelle condizioni descritte.

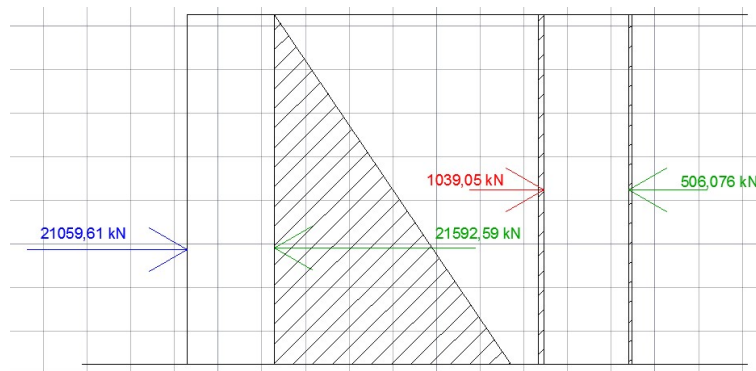
A questo punto si necessitano misure di mitigazione post-evento, ovvero opere strutturali che permettono alla parete così formata di stabilizzarsi ed evitare ulteriori crolli. In funzione alla geometria ed al tipo di terreno, si ipotizza l'uso di opere gravitative e se ne calcolano le spinte dopo un pre-dimensionamento. La spinta attiva viene trovata dalla somma di 3 componenti:

$$\sigma'_{ha} = K_a \sigma'_v - 2 c' \sqrt{K_a} + q K_a$$

- Il primo termine ha un diagramma di spinta triangolare che cresce con la profondità, dal piano campagna a 0 kN/m<sup>2</sup> fino alla base a 539.8 kN/m<sup>2</sup>, con una spinta di 21592,59 kN;
- Il secondo termine ha un diagramma rettangolare costante con valore di -6,32 kN/m<sup>2</sup>, producendo una spinta opposta alla parete di -1039,05 kN;
- Il terzo termine indica la presenza di edifici sul bordo del pendio con un carico ipotetico di 15 kN/m<sup>2</sup> (abitazioni in cemento armato di 10 metri circa) e con un diagramma rettangolare costante sulla profondità con valore di 12,99 kN/m<sup>2</sup>, avente una spinta di 506,076 kN sulla parete.

La spinta totale, quindi, è somma delle spinte: 21059,61 kN, con una profondità dal piano campagna pari a 53,67 m calcolata con il rapporto di momenti agenti.

Tramite i fattori di sicurezza alla traslazione e alla rotazione, si denota che per resistere a tale spinta del terreno sarebbe necessaria un'improbabile opera cementizia alta 80 m con uno spessore di circa 48 m, allo scopo di ottenere un peso totale di almeno 95500 kN (con  $\gamma$  di cemento armato pari a 25 kN/m<sup>3</sup>).

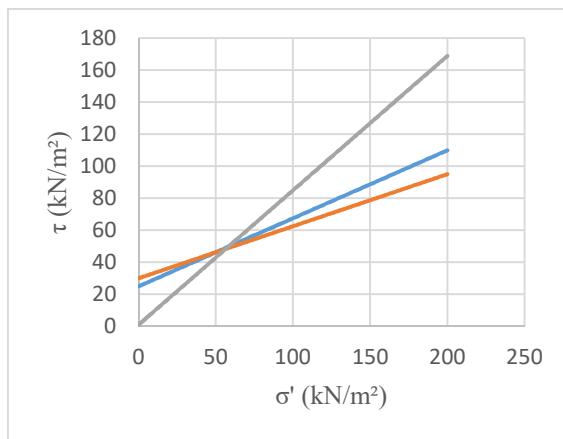
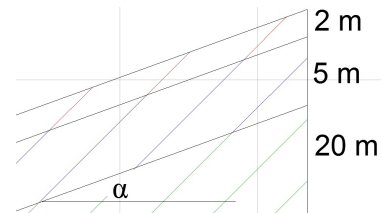


Soluzioni più adatte sono le terre armate, che sfruttano meglio la geometria del sito ed utilizzano l'attrito terreno-armatura come forza aggiuntiva nell'evitare un nuovo crollo. Si preferisce questa soluzione alle paratie perché si hanno a disposizione diversi metri quadrati a valle per la posa in opera della struttura.

La frana attivata a Ponzano di Civitella del Tronto si sviluppa su un versante del colle molto ampio, con una pendenza di circa  $30^\circ$  rispetto all'orizzontale.

Dalle indagini in sito si possono ricavare i parametri trovati nel bacino del Tronto, in particolare nell'area di Ascoli Piceno per lo studio del sottosuolo in monitoraggio sismico. Infatti risultano tre velocità di diffusione delle onde di taglio verticali: un primo strato spesso 2 m ha una velocità di 180 m/s, un secondo strato arriva a 510 m/s con spessore di 5 m, mentre più in profondità si raggiungono velocità di 815 m/s (lo spessore è ipotizzato di 20 m). Da queste informazioni si può ipotizzare la stratigrafia e tabulare:

strato	profondità m	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$c'$ kN/m <sup>2</sup>	$\phi'$ rad
1 argilla emersa	da 0 a 2	15.6	25	0.40143
2 argilla bagnata	da 2 a 7	19.5	30	0.31416
3 sabbia	da 7 in giù	21.7	1	0.69813



Considerando una falda acquifera in profondità 2 m dal piano campagna, solidale all'argilla bagnata; per cui il calcolo viene effettuato con metodo indefinito a lungo termine, valutando un fattore di sicurezza sommando gli effetti di ogni strato come il rapporto

$$\frac{c' + (\gamma z \cos^2 \alpha - \gamma_w d_w \cos^2 \alpha) \tan \phi'}{\gamma z \sin \alpha \cos \alpha}$$

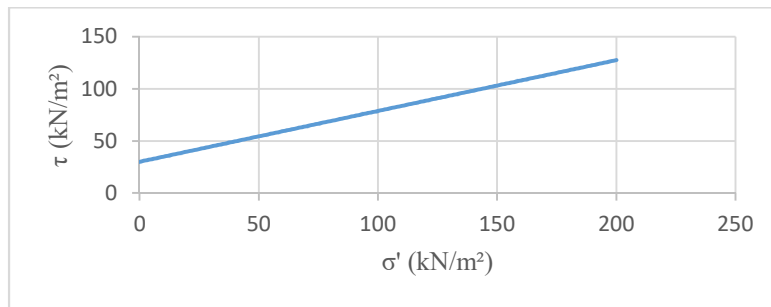
Per le considerazioni ambientali poste, ignorando gli edifici e le opere antropiche perché irrilevanti nel vasto territorio considerato, si ottiene un coefficiente di sicurezza di poco inferiore all'unità:  $F_s = 0,9224$ . Il fenomeno di dissesto si è sviluppato proprio a causa delle intense piogge che hanno ulteriormente appesantito il terreno per saturazione di acqua.

L'ipotesi di intervento a frana quiescente, può essere quella delle gabbionate dato che si stabilizza un'area molto grande e con bassa pendenza rispetto a quella di Campli. Inoltre questa soluzione ha grandi capacità di drenaggio dell'acqua in accumulo; se si calcola con lo stesso metodo un terreno simile ma asciutto, quindi si annullano i termini di pressione interstiziale, si ricava un coefficiente di sicurezza notevolmente più alto e più che sufficiente a rendere l'area più sicura:  $F_s = 1,489$ .

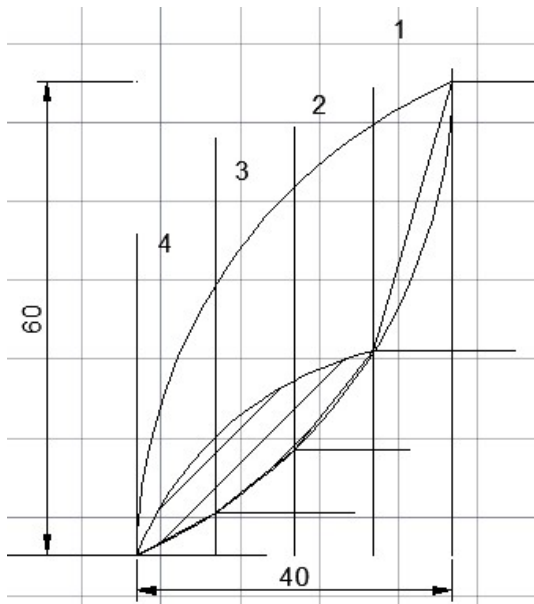
Essendo un versante fortemente sviluppato nel campo agricolo, è chiaro che nella salvaguardia dell'intera area va trattato come tale, ovvero limitare al minimo le nuove costruzioni ed opere antropiche che favorirebbero un nuovo smottamento verso valle, quindi bisogna conservare le caratteristiche ambientali tramite l'uso di una vegetazione tipica e quanto più adatta a favorire la stabilità.

Il dissesto descritto in località di Casoli di Atri ha caratteristiche geometriche simili a quelle di Campli, alto dislivello e concentrato in un unico sito, con edifici sul piano campagna superiore ma anche una viabilità locale a valle da preservare.

I parametri geotecnici del terreno sono tipici della zona vicina al litorale adriatico e collinare, i dati rilevati nel comune di Montesilvano (PE) sono simili, caratteristica principale è l'omogeneità con un unico strato di argilla umida, con un peso specifico  $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$  avente un angolo di taglio  $\varphi' = 26^\circ$  e coesione  $c' = 30 \text{ kN/m}^2$ .



Si analizza lo smottamento col metodo delle strisce data l'omogeneità e la geometria del problema, quindi bisogna dividere lo smottamento ipotizzando la sezione di scorrimento. Risulta conveniente utilizzare questo metodo rispetto all'equilibrio limite perché la massa in scivolamento si trova ancora in sito, rispetto a quella di Campli che, per via dei crolli, è stata prelevata. Si ipotizza una falda acquifera di profondità 34,2 m dal piano campagna superiore, che interferisce sulle pressioni interstiziali delle tre strisce inferiori.



Il corpo viene diviso in quattro strisce con stesso spessore, valutando tutti i parametri ambientali e le geometrie imposte, si calcola il noto rapporto del coefficiente di sicurezza:

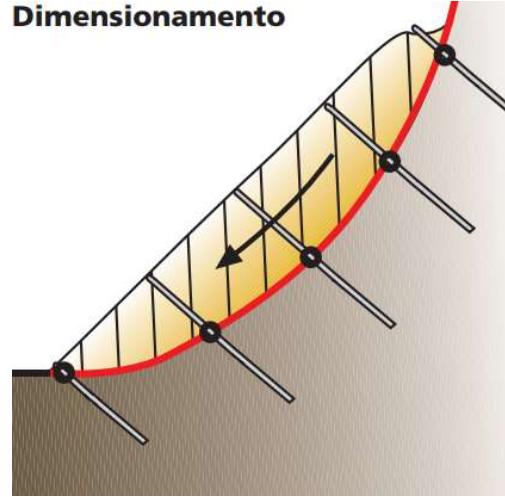
$$\frac{\Sigma(c'L + (W\cos\alpha - uL) * \tan\varphi')}{\Sigma(W\sin\alpha)}$$

Il valore è notevolmente basso:  $F_s = 0,49$ , perciò si spiega lo smottamento avvenuto, favorito dalle condizioni meteorologiche oltre che dal peso degli edifici posti sul piano campagna superiore.

Si ipotizza la costruzione di un'opera strutturale: come primo passaggio bisogna valutare il fattore di sicurezza senza le pressioni interstiziali, perché un sistema di drenaggio posto a valle sarebbe la soluzione più immediata ed economica. Quindi il calcolo porta a  $F_s = 0,8$  troppo basso per non intervenire in altro modo anche se migliora di molto la stabilità.

Un intervento a basso impatto visivo ed ambientale, molto utilizzato in simili geometrie, è quello delle reti di contenimento. Queste permettono lo sviluppo della vegetazione sul pendio e sui nodi si ha un alto sforzo tensionale capace di respingere lo slittamento della massa di crollo. Inoltre, hanno solo il costo della quantità di acciaio capace di coprire la superficie d'interesse di circa 6500 m<sup>2</sup> e gli ancoraggi nel terreno.

### Dimensionamento



Un compito altrettanto importante è svolto dalla vegetazione sul versante che, come visto tramite le radici, riesce a favorire l'ancoraggio della massa instabile al versante più stabile, dato che la frana ha una profondità di pochi metri.

Le frane geometricamente simili di Castelnuovo di Campi e Casoli di Atri denotano un particolare molto interessante: la massa di terreno distaccatasi nella prima, subisce una caduta gravitativa per crollo a seguito della rottura sulla superficie di scorrimento; la seconda ha un lento e più blando scivolamento verso valle del corpo di frana. Dal rilievo fotografico è deducibile la natura di questa differenza, ovvero che nella prima si descrive un versante con poca vegetazione, sterpaglie basse e rade, nella seconda si ha un versante addirittura coltivato, in girasoli, ulivi e alcune graminacee. È possibile che la vegetazione sul suolo abbia contenuto la frana, grazie alle radici, ed è per questo che si ipotizza un intervento tramite reti di contenimento e conservazione del verde presente.



## 8 Conclusioni

A conclusione di questi studi è ormai chiaro quanto l'intera comunità sia stata resa partecipe di uno sviluppo di eventi così catastrofici. Dal punto di vista economico, una grande responsabilità grava sulle spalle dello Stato e delle Istituzioni superiori, è compito delle amministrazioni locali far sì che, tramite un'ottimizzazione di risorse, avvenga una corretta risposta al problema.

È evidente che fenomeni di questo tipo, come disastri ambientali, siano sempre più frequenti e di maggior impatto sia sulla società che sui beni. Ci si sta abituando a stagioni estive sempre più secche e stagioni invernali sempre più piovose e nevose, che comportano l'aggravarsi di crisi idriche con carenza d'acqua alternata ad eventi temporaleschi di alta intensità. Si è analizzato come questa sia una diretta conseguenza del cambiamento climatico. A tal proposito ci si interroga su come si può affrontare una simile situazione, o meglio, come si può evitare che avvengano certi fenomeni e subire meno danni possibili?

Oggi non è più possibile "rincorrere" una soluzione, né fuggire dal problema, non si può aspettare l'evoluzione di un dissesto o la calma dopo un'alluvione perché saremmo in tempo solo per fare la conta dei danni subiti. Dopo innumerevoli studi sulle alte tecnologie, ma soprattutto, dopo aver sviluppato una coscienza piena del problema da affrontare, è doveroso trovare le soluzioni prima che questo si scateni. Si è parlato molto di interventi, di tipologie di tecniche, di opere strutturali e non strutturali, ma la prima risposta è quella di conoscere più a fondo le cause e la natura della minaccia. Bisogna ribadire che la natura non è pericolosa, non se rispettata e trattata come di dovere; per far ciò bisogna anche conoscerla e non averne paura. Si ricorda che, così come non è il terremoto ad uccidere, ma l'opera errata dell'uomo; anche la superficialità nell'affrontare una situazione di imminente crisi compromette il futuro dell'intera popolazione.

Dopo anni di cambiamenti climatici, fenomeni atmosferici sempre più intensi ed incontrollabili, raccolta di dati e parametri di qualsiasi genere, scegliere di non agire ha dei costi superiori all'attivarsi per contribuire alla salvaguardia dell'ambiente. Diventa, cioè, inutile mappare i siti a rischio di dissesto idrogeologico se a questi non si associano interventi immediati di mitigazione; per questo sono in sviluppo nuove tecniche che anticipano secondo un modello di previsione, i futuri eventi franosi.

È ben noto che non è possibile prevedere con esattezza una frana ma, note le cause ed i parametri ambientali, è possibile prevenire il rischio della sua attivazione. Quale automobilista sceglierebbe di non girare se vede un ostacolo sulla sua strada?

Il ben noto ente ENEA, esperto in materia di protezione ambientale oltre che di salvaguardia dei beni e della popolazione, spiega l'importanza della fase di controllo, monitoraggio ed analisi dei dati acquisiti, per permettere proprio quella che è un'improbabile previsione degli eventi e

ridurre il rischio che questi si sviluppino. Infatti, si ha una fase di interpretazione delle informazioni raccolte nella previsione e monitoraggio, con conseguente quadro delle decisioni operative per l'eventuale riduzione del rischio tramite i Piani di Esposizione al Rischio (PER).

Nel resoconto del suo articolo, Urciuoli denota che: *“Si privilegiano gli interventi non strutturali se non sussiste una minaccia diretta per la vita umana. Al contrario, misure non strutturali sono largamente usate come soluzione provvisoria al problema, in attesa di interventi strutturali. Quindi le tecniche di previsione permettono di gestire in sicurezza il pendio con opere di provvedimenti di emergenza”*.

Si è visto come la pioggia abbia la capacità di innescare una frana di un pendio in stato già precario, perciò è importante investire sulla ricerca di metodi basati sulle soglie empiriche derivanti dall'analisi della riposta del sottosuolo alla sequenza di eventi atmosferici.

Inoltre, bisogna approfondire l'aspetto fin troppo sottovalutato della vegetazione superficiale. La deduzione al termine delle ipotesi di intervento, che descrive la differenza tra le frane di Campi ed Atri, deve essere un monito per la mitigazione del rischio delle potenziali frane. Cioè favorire lo sviluppo della vegetazione in maniera controllata e coerente col contesto ambientale, in modo che questa sia la prima “opera strutturale” ad intervenire in caso di smottamento; dopotutto è l'unica vera opera a costo zero e ad efficienza assicurata, senza aumentare eccessivamente il carico sulla superficie del pendio.

Si è discusso abbondantemente sulla salvaguardia della popolazione che viene coinvolta nel corso di un fenomeno naturale, ma si sa che altrettanto importante è la necessità di salvaguardare il patrimonio culturale, essendo l'anima della popolazione stessa. In genere, in caso di sisma, gli edifici storici sono i più vulnerabili perché sprovvisti della capacità di resistere a questo tipo di sollecitazioni, ma in caso di smottamenti del terreno si localizzano aree più o meno soggette al rischio. Allora risulta necessario un piano di salvaguardia specifico per un sito o edificio di rilievo storico e monumentale. Si è parlato dei tre comuni teramani ricchi di storia antica ed attrazioni turistiche, sia per paesaggi come i Calanchi di Atri, sia per edifici antichi ed unici come la fortezza di Civitella del Tronto; ma la provincia di Teramo ne è piena di esempi altrettanto validi. Basti pensare al borgo di Silvi Alta o alla Torre di Cerrano, entrambi anticamente soggetti a gravi smottamenti; ancora si presentano la chiesa di Sant'Agostino di Tortoreto, il sito del teatro romano nel cuore di Teramo, oppure il Santuario di San Gabriele a Isola del Gran Sasso. Questi sono pochi esempi del vasto numero di luoghi d'interesse di tutta la regione abruzzese, ma dalle analisi condotte sul territorio, l'Abruzzo ha anche un'altissima densità di aree in frana.

Questo è un motivo in più per agire prima che la frana si attivi, la perdita di un edificio storico ha costi ben più grandi di quelli economici di un qualsiasi ambiente pubblico o privato;

Intervenire sui punti di elevata criticità risulta essere il primo passo verso la messa in sicurezza del patrimonio culturale.

Per permettere una corretta gestione del rischio si è vista l'importanza di un'efficace sistema di monitoraggio; se ne è parlato durante l'incontro della Giornata Mondiale dell'Ambiente 2017 presso il GSSI de L'Aquila in occasione della presentazione di una nuova tecnica di monitoraggio per dissesti rapidi. I ricercatori del Dipartimento di Geotecnica dell'Università di Firenze, in collaborazione con una start-up svizzera, hanno sperimentato il funzionamento di allerta detto "avalanche modeling" basato su strumentazioni che sfruttano l'effetto doppler di un movimento, in occasione dell'evento catastrofico a Rigopiano il 18 gennaio 2017. Il compito fu quello del monitoraggio continuo del versante interessato dalla valanga, con lo scopo di allertare tutto il personale impegnato nei soccorsi a valle, di un'imminente distacco da monte. Questo sistema, molto economico a livello strumentale, risulterebbe efficiente se installato ed adattato in un sito di interesse monumentale.

Un esempio di controllo costante può essere la famosissima Civita di Bagnoregio, in provincia di Viterbo, definita "la città che muore" per le sue condizioni geologiche. Essa si erge su un colle di tenero tufo e si registrano piccoli crolli e cedimenti costanti ogni anno, un gioiello unico che sprofonda lentamente.

Al termine di queste analisi, il risultato matematico può essere interpretato in vari modi a seconda del contesto e delle disponibilità d'intervento, ma a questo problema si ha un risultato non-analitico univoco: bisogna agire in maniera concreta, nel rispetto dell'ambiente, attraverso una mitigazione del rischio invece che una riparazione dei danni subiti. Questo è possibile solo se ogni cittadino sia ben informato del rischio che si affronta, quindi conosca la problematica e sia guidato da un'istituzione che sappia gestire qualsiasi evento di crisi, tramite il coordinamento degli enti in grado di scendere in campo sia prima che dopo una minaccia di origine naturalistica.

## 9 Bibliografia

- B. DI LENA, D. GIULIANI, *Report meteorologico del mese di gennaio 2017 nella regione Abruzzo*, Servizio Presidi Tecnici di Supporto al Settore Agricolo, Ufficio di Coordinamento Servizi vivaistici e Agrometeo Scerni (Ch), 2017
- SITI, *Provincia di Pescara, Provincia di Teramo, PescaraPost, Abruzzoweb.it, Wikipedia.org, Comuniverso.it, ZonaLocale*, quotidiani d'informazione online, 2017
- CARTOGRAFIA, *Carta Geologica d'Italia, scala 1:1250000 & Google maps & progetto PAI*
- E. LAGROTTA, D. SABATO, *Abruzzo, il sistema idrico*, Ministero dell'Economia e delle Finanze, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2003
- L. D'ALESSANDRO, L. DEL SORDO, M. BUCCOLINI, E. MICCADEI, T. PIACENTINI, A. URBANI, *Analisi del dissesto da frana in Abruzzo*, APAT – Servizio Geologico Nazionale, 2005
- F. GABRIELLI, *Indicazioni operative del Capo Dipartimento del 12 ottobre 2012 per prevedere, prevenire e fronteggiare eventuali situazioni di emergenza connesse a fenomeni idrogeologici e idraulici*, Capo Dipartimento della Protezione Civile, 2012
- G. GULLA', *Instabilità dei versanti e frane: dall'emergenza alla prevenzione*, Consiglio Nazionale delle Ricerche
- R. LANCELLOTTA, *Geotecnica*, Politecnico di Torino, 2004
- P. FROLDI, *Dissesto Idrogeologico e stabilità dei versanti, consolidamento dei pendii con palificate*, Maggiori Editore, 2015
- BRITISH STANDARD 6031, *Code of practice for earthwork*, British Standards Institution, 1981
- J. FACCIORUSSO, C. MADIAI, G. VANNUCCHI, *Dispense di Geotecnica – Opere di sostegno*, Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, 2011

R. VASSALLO, G. GRIMALDI, C. DI MAIO, *Analisi 3D dell'influenza delle piogge sulle pressioni interstiziali di una frana profonda in terreni argillosi*, Scuola di Ingegneria – Università della Basilicata, 2014

RICERCATORI UE, *Le cause dei cambiamenti climatici & Le conseguenze dei cambiamenti climatici*, European Commission, 2017

M.G. ANDERSON, K.S. RICHARDS, *Slope Stability*, Geotechnical engineering and geomorphology, 1987

BINNS, *Water use and rooting habit of trees on clay soils in England*, HMSO, 1980

NORMATIVA: NTC2008 & ITALIASICURA

70 RICERCATORI ENEA, *La sostenibilità ambientale. Un manuale per prendere buone decisioni*, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, 2015

ISPRA, *Rapporto sulle frane in Italia*, Progetto IFFI, 2007

G. URCIUOLI, *Ambiente Rischio Comunicazione 3 – Mitigazione del rischio di frana*, Università degli Studi di Napoli Federico II – Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale, 2012

P. RIZZI, *The resilient game*, Università degli Studi de L'Aquila, 2015

K. TERZAGHI, R.B. PECK, G. MESRI, *Soil mechanics in engineering practice*, University of Illinois, 1967

R.B. PECK, *The power of observation, before, during and after*, University of Illinois, 2003

## Ringraziamenti

Sin da quando ero solo un bambino avevo il sogno di diventare Ingegnere, non sapevo cosa significasse e non sapevo quanto fosse difficile assumersi queste responsabilità, ma la parola ingegno mi attirava. Risolvere problemi con genialità, applicando gli studi scientifici di qualsiasi campo, e riuscire a pensare un po' più in là. Era proprio questo che mi sarebbe piaciuto diventare.

Ma nel capitolo dedicato ai ringraziamenti non posso parlare del mio sogno, semplicemente perché questo è diventato realtà grazie alle persone che mi sono state vicino.

E allora la prima ad essere citata è la fonte della mia ispirazione, la mia bisnonna, che a 102 anni ha la stessa forza e tenacia di una ragazza; nella sua vita tanto ha sofferto ma tantissimo ha saputo dare, e tutt'ora dà, alla famiglia, esempio di fedeltà e di passione per tutto quello che fa. Così come lei, un grazie va ai nonni, che con il solito "Che ti sei mangiato?" mi fanno sentire a casa anche a chilometri di distanza.

Un grazie non basterà ma spero possano capire, ai miei genitori che con una serie infinita di sacrifici mi hanno sostenuto dal giorno dell'immatricolazione. A mamma che col suo orgoglio mi sprona a pretendere sempre di più da quello che semino ogni giorno, a papà che con la sua mitezza mi sa guidare in ogni mia decisione; sono loro il mio primo esempio di vita, un esempio di tenacia e coraggio nell'andare sempre avanti anche nei momenti più difficili, perché hanno la gran parte del merito di una crescita basata su saldi principi di vita.

A Michela, con cui ho condiviso i momenti più duri di questo cammino, perché lei solo sa quanto può essere difficile questo compito. Entrambi fuori sede, entrambi lontano da casa in città diverse, ma sempre l'uno il riferimento dell'altro. A lei che è ancora sul suo cammino universitario, dedico l'incitamento più grande a non lasciarsi mai scoraggiare, perché una delusione porta sempre ad un'altra possibilità, magari migliore della precedente.

Agli amici che sono in "patria", quelli che mi aspettano il week-end per passare qualche ora insieme, va il grazie per l'incitamento che mi danno ogni volta che ci vediamo. Perché loro mi hanno visto cambiare, crescere e finalmente maturare tra gli innumerevoli impegni che ci sommergevano, perché loro sono la famiglia che si sceglie. Ai compagni di avventura, con cui ho condiviso ogni passo di questo lungo cammino, li vorrei ringraziare uno ad uno, perché ognuno di loro mi ha saputo dare qualcosa; gli amici "aquilani", quasi tutti fuori sede, sono coloro che più capiscono le difficoltà quotidiane che uno studente deve affrontare. Perché tutti loro mi hanno reso la vita universitaria più bella, meno stressante e, soprattutto, più emozionante.

Il più grande grazie va a colui senza il quale non sarei capace di vivere ogni giornata, va a colui per cui ho deciso di dedicare la mia vita e le mie soddisfazioni, nonché sofferenze, il più grande grazie va al Signore. È a Lui che affido i miei pensieri e preoccupazioni, ma anche idee ed

obiettivi, ogni mattina quando mi sveglio e ogni sera a fine giornata. Allo stesso modo ringrazio quanti me lo hanno fatto amare, a partire dagli educatori di Azione Cattolica, che mi hanno trasmesso il senso di responsabilità, fino ai sacerdoti della mia parrocchia. Proprio alla grande comunità di AC dedico un pensiero speciale perché il miglior servizio è quello che si fa al prossimo e non esiste un altro servizio capace di trasmettere un senso di vita e pace più di questo. Così un pensiero va ai ragazzi e bambini di ACR che, ignari di tutte le fatiche, sanno guardare il cuore e incoraggiano col più semplice dei sorrisi.

Un grazie va al “gruppo di giochi”, la Nuvola Gialla, con cui aspetto con impazienza di trascorrere la domenica mattina, soffrendo su una bicicletta ma soprattutto staccare la mente dai mille pensieri lavorativi della settimana. Perché questo gruppo di amici mi ha accolto, anche da “fuori taglia”, e mi ha dato consigli grazie alla grande esperienza di vita.

In ultimo, un ringraziamento speciale va al mio relatore di tesi professor Totani, che nel corso degli studi ha saputo trasmettere la passione nella geotecnica, rendendo le lezioni quanto più chiare con argomenti sempre più attuali. Con disponibilità e pazienza mi ha guidato nello svolgimento degli esami e la realizzazione della tesi.

La mia tesi è dedicata a coloro che sono stati più volte citati nel testo, le popolazioni del Centro Italia. Perché possano essere forti e speranzosi nel futuro, così come hanno mostrato di esserlo nel recente passato, affrontando giorni terribili e difficili; abbiamo tutti condiviso le loro sofferenze ed è arrivato il tempo di reagire davanti a queste problematiche.

All’Abruzzo, che nella semplicità del suo popolo, si mostra forte e gentile davanti agli ostacoli, capace di emozionare in ogni suo scorcio, capace di rimanere impresso nel cuore di chi ci vive.

*Quando il morale è basso,  
quando il giorno sembra buio,  
quando il lavoro diventa monotono,  
quando ti sembra non ci sia più speranza,  
monta sulla bicicletta e pedala  
senza pensare a nient’altro che alla strada che percorri.*  
(Sir Arthur Conan Doyle)