

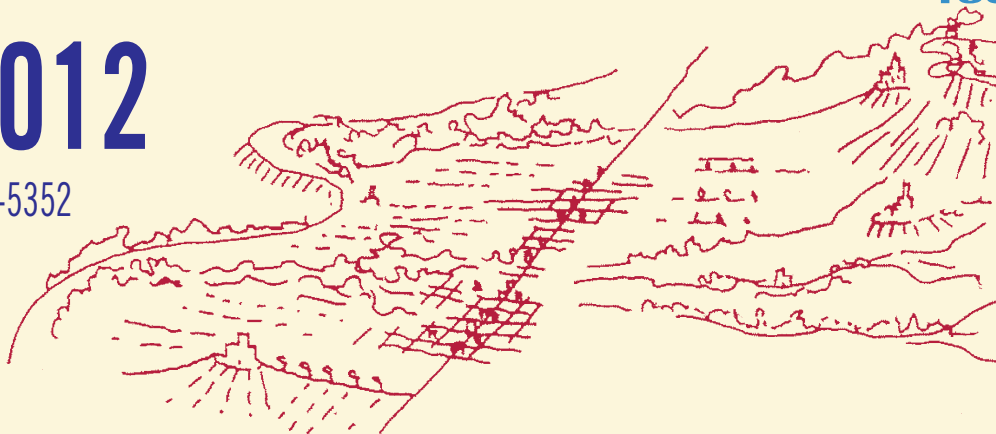
Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale

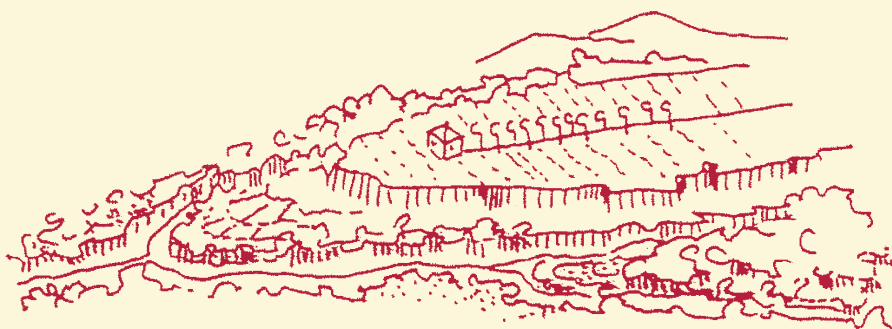


1/2012

ISSN 1591-5352



trame insediative e trame ambientali



cozzidoli verdi e linee d'acqua



Quattro generazioni di oggetti nell'affaccio di M. Mario



Un problema di geologia forense: indagini sul dissesto idrogeologico dell'abitato est di Teramo del 9 settembre 2003

ROMOLO DI FRANCESCO
GEO&GEO Instruments® – research & development

www.romolodifrancesco.it – www.geoandgeo.com

INTRODUZIONE

Il giorno 9 settembre 2003 un violento nubifragio si è abbattuto sul territorio comunale di Teramo provocando, come riportato in alcuni articoli giornalistici del giorno dopo, “*un impressionante mare di acqua e fango...*”.

La zona di preminente interesse è sita nella periferia est del territorio del comune di Teramo, inserita nel tipico ambiente collinare della fascia pedemontana abruzzese caratterizzata da forme dolci, di modesta altezza e sovente interrotte dal terrazzamento operato dai sistemi fluviali all'incirca nell'ultimo milione di anni. Si evidenzia, a tal proposito, che il nome latino di Teramo è Interamnium Urbis, ossia “città tra due fiumi”, essendo il centro storico bordato dal Torrente Vezzola a Nord e dal Fiume Tordino a sud (Fig. 1), tanto da aver dato luogo ad un fenomeno di sovralluvionamento al quale sono ascrivibili le potenti ghiaie che costituiscono l'ossatura dell'intero territorio comunale capoluogo.

Or dunque, gli ambienti brevemente descritti hanno subito, in assenza di attività antropica e nel lungo periodo inteso in senso

geologico e non storico, una moltitudine di processi morfogenetici dipendenti dall'azione combinata di forze endogene di sollevamento delle terre (riconducibili all'orogenesi appenninica) e di forze esogene di modellamento dovute all'azione prevalente delle acque e della gravità, fino a raggiungere una forma di equilibrio la quale è comunque evoluta in funzione dell'alternanza dei sistemi morfoclimatici susseguiti durante l'intero Pleistocene (esempio tropicale → periglaciale).

Negli ultimi millenni le crescenti attività antropiche, dipendenti dal rapido percorso evolutivo dell'uomo descrivibile attraverso una funzione iperbolica, hanno determinato la sovrapposizione, alle azioni dipendenti dalla dinamica del pianeta, di un'evoluzione parallela e spesso intersecantesi, conducendo a locali accelerazioni e/o modificazioni dei fenomeni naturali.

Il fenomeno analizzato con la presente ricerca deve allora essere inquadrato in tale ottica e da un punto di vista dinamico, poiché solo ragionando in termini evolutivi sarà possibile ottenere una chiara visione degli eventi del giorno 9 settembre 2003.

In effetti, il problema risulta particolarmente complicato dalla necessità di tale studio derivato da una vertenza civile promossa nel 2007 (e quindi 4 anni più tardi, allorquando erano scomparse le tracce del fenomeno) da privati nei confronti del comune di Teramo, dal momento che il dissesto idrogeologico di quel giorno sembrerebbe avere avuto origine proprio presso un nuovo quartiere, sito nella periferia est dell'abitato capoluogo (Fig. 1), in relazione alle modifiche antropiche del territorio. Nel contempo, seguendo l'ordine logico dettato dai quesiti espressi dal Giudice Relatore, si cercherà nel seguito di fornire risposte esaurienti alla ricerca di un possibile nesso causale tra l'evento e le modifiche apportate al territorio, oltre a cercare di stabilire l'esistenza di un evento eccezionale che, stante la giurisprudenza attuale, ricondurrebbe il tutto a meri fenomeni naturali e pertanto non prevedibili.

ANALISI MATEMATICA DELL'EVENTO

Sulla scorta di quanto premesso appare evidente che la ricerca dell'eccezionalità dell'evento deve rappresentare il punto di

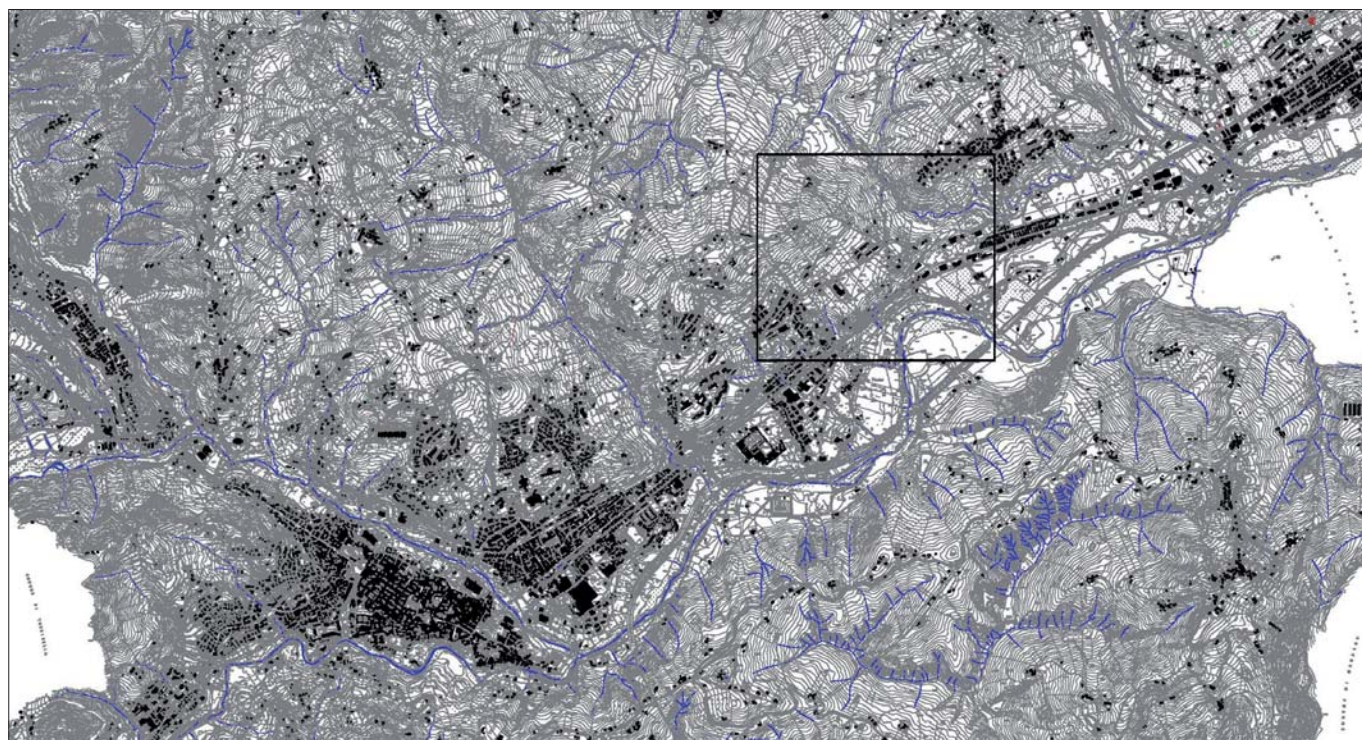


Figura 1 – Planimetria generale dell'abitato di Teramo il cui nome latino, Interamnium Urbis, significa città tra due fiumi; il riquadro indica la zona di studio.

partenza dell'intero studio, tanto da richiedere l'analisi dei dati pluviometrici relativi alla zona di interesse. Il primo passo è quindi consistito nel reperimento di tali dati presso l'Istituto Idrografico della Regione Abruzzo e relativi al periodo 1976-2006, dai quali è stato successivamente costruito il grafico di cui alla Fig. 2 con i valori relativi all'anno 2003 distinti giornalmente.

La trasformazione dei dati grezzi, in quanto non ancora elaborati dal citato Istituto Idrografico il cui aggiornamento è fermo al 1999 (all'epoca dello studio – 2007, n.d.a.), ha richiesto la trasformazione di elementi puntuali in un grafico cartesiano nel quale sono riportati in ascissa il tempo e in ordinata le precipitazioni espresse in millimetri di pioggia. Osservando nel dettaglio la Fig. 2 risulta innanzitutto una chiara visione dell'andamento giornaliero delle precipitazioni registrate durante l'intero 2003; segue, quindi, l'evidenza che durante lo stesso anno si sono verificati numerosi altri eventi di entità molto superiore a quello di interesse a sua volta evidenziato da una freccia gialla.

Tenuto conto che i dati registrati dal pluviografo sono sfasati di un giorno in avanti rispetto alla data reale, il grafico in questione mostra con estrema chiarezza che, se il 9 settembre 2003 sono caduti in totale 17.2 millimetri di pioggia, i giorni 31 luglio e 26 agosto ne sono caduti rispettivamente 100.8 e 40.6 millimetri, ovvero una quantità superiore di un fattore 5.9 e 2.4 in assenza di dissesti idrogeologici. Letti banalmente in questo modo, i dati raccolti negano l'esistenza, per il giorno 9 settembre 2003, di un evento eccezionale, stante la Fig. 3 che rappresenta una finestra della Fig. 2 concentrata sul solo mese di settembre.

Un'analisi di dettaglio del grafico di cui alla Fig. 3 rivela, in effetti, che durante il mese di settembre, e successivamente all'evento in oggetto, sono state registrate altre due condizioni di entità paragonabile, esattamente i giorni 13 e 24, alle quali sono corrisposti ulteriori dissesti del territorio tanto da dare luogo ad una relazione diretta tra l'entità delle precipitazioni e la vulnerabilità del territorio riscontrabile però nel solo mese di settembre.

Pur rimandando ai paragrafi successivi per una disamina del fenomeno, appare evidente la necessità di ulteriori approfondimenti dell'argomento considerato che, tra i fattori che concorrono all'erosione del suolo ovvero alla condizione che ha sotteso la formazione e l'evoluzione della massa di acqua, fango e detriti, assume a questo punto condizione prioritaria l'energia cinetica delle precipitazioni, conducendo a concentrare l'attenzione sull'andamento della pioggia in funzione delle ore e non più dei giorni e giungendo infine all'elaborazione del grafico rappresentato in Fig. 4.

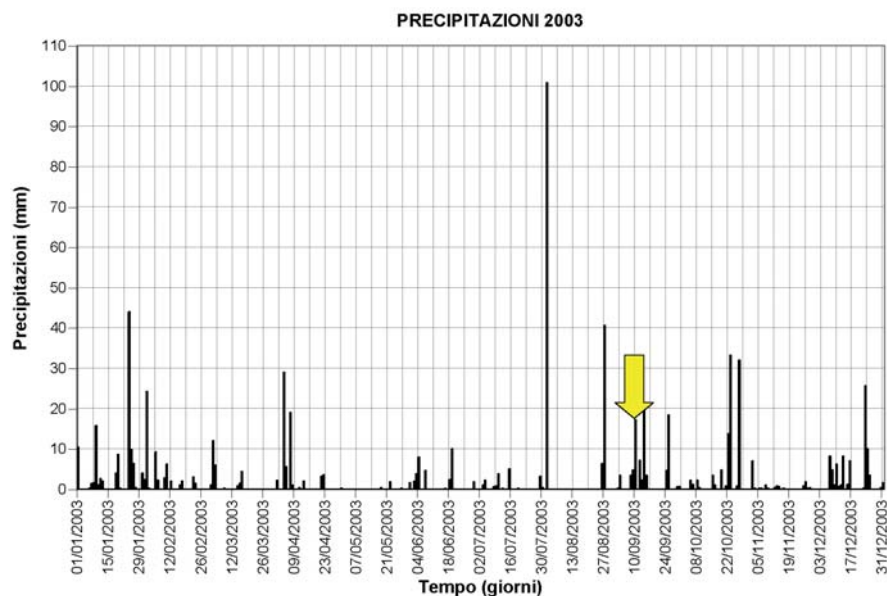


Figura 2 – Grafico delle precipitazioni giornaliere del 2003, con la freccia gialla che indica l'evento del 9 settembre responsabile del dissesto idrogeologico (la data è sfasata di un giorno in avanti).

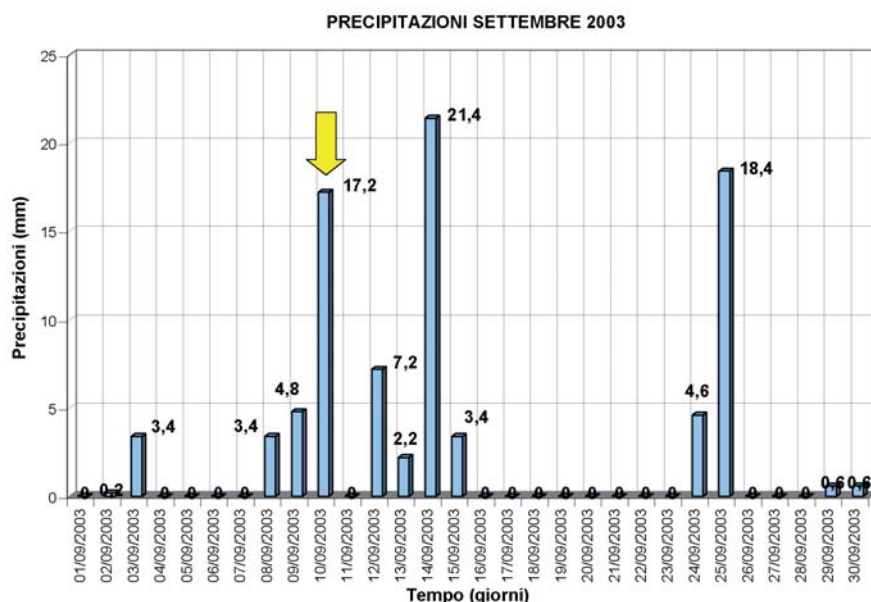


Figura 3 – Grafico delle precipitazioni del mese di settembre 2003, con evidenziato il giorno oggetto dell'evento.

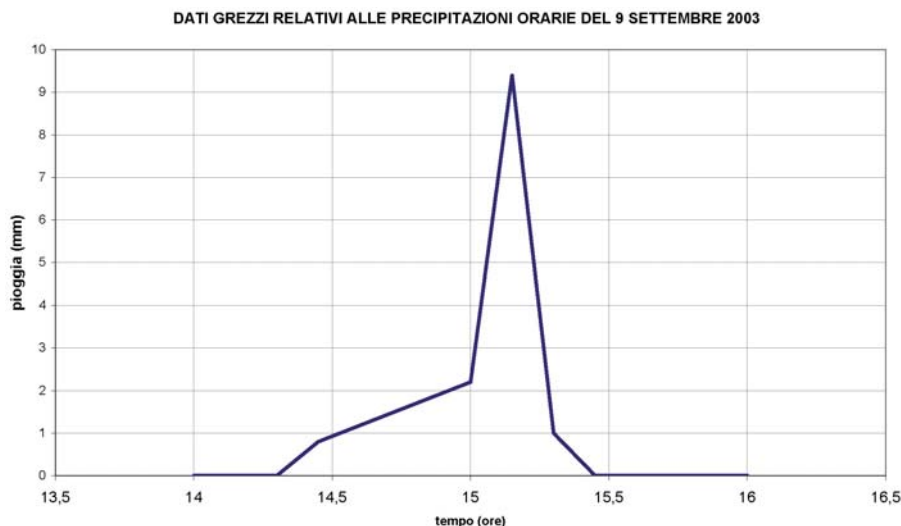


Figura 4 – Grafico relativo alle precipitazioni orarie del 9 settembre 2003, costruito a partire dai grezzi forniti dall'Istituto Idrografico della Regione Abruzzo.

Orbene, una corretta analisi dei dati mostrati in tale grafico richiede la costruzione di una funzione matematica del tipo:

$$F_{pluv} = f(t_1, t_2) = f(t) \quad (1)$$

continua nel suo dominio di esistenza (D) che nel caso specifico è compreso tra le ore 14.30 e le ore 15.30:

$$(t_1 = 14.30, t_2 = 15.30) \in D \quad (2)$$

In tal modo la Fig. 4 assume una nuova forma rappresentata nella Fig. 5, che risulta ora continua e non più discreta nell'intervallo considerato.

Il vantaggio di operare con funzioni continue deriva dal potersi applicare il calcolo integrale, giungendo infine a determinare matematicamente la quantità di acqua (Q) precipitata nel periodo di osservazione (D):

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (3)$$

la quale corrisponde all'area di piano sottesa dalla funzione data.

Nel caso specifico essa corrisponde all'area compresa tra la funzione rappresentata nella Fig. 5 e l'asse delle ascisse per l'intervallo (D = 14.30 - 15.30) considerato, con un risultato pari a 13.4 millimetri di pioggia caduta in circa un'ora che corrisponde al 77.9% della quantità totale di precipitazione avvenuta il giorno 9 settembre 2003; ciò comporta, di conseguenza, che il dato assume ora una nuova importanza, la quale a sua volta deve essere verificata al fine di valutare l'effettiva esistenza di un evento eccezionale.

Il nuovo problema che si pone ora dipende dall'aver spostato l'attenzione dalle precipitazioni giornaliere a quelle orarie, potendo in tal modo determinare l'intensità delle stesse mediante l'introduzione di un nuovo parametro capace di riassumere il fattore "energia cinetica" e dato dalla variazione di precipitazioni nel tempo:

$$I = \frac{d}{dt} f(t) \quad (4)$$

L'applicazione dell'equazione (4) porta a poter calcolare la variazione delle precipitazioni (I) anche in funzione di tempi infinitesimali, anche se l'obiettivo preposto consiste nell'assunzione di un tempo minimo di un'ora ritenuto non solo ragionevole, ma anche corrispondente ai dati strumentali disponibili. Nel contempo, se per l'ora considerata si ottiene facilmente un'intensità $I = 13.4$ mm/h, l'applicazione dell'equazione (4) ad un intervallo di tempo di soli 15 minuti, corrispondente al tratto di curva in salita precedente il valore di picco, comporta un valore 2.8 superiore a tale dato.

Non resta, infine, che confrontare i nuovi dati con le massime intensità delle precipitazioni annuali a partire dall'elaborazione dei dati forniti dall'Istituto Idrografico e relativi ora al periodo 1929-1999, con i dati delle massime intensità delle precipitazioni sintetizzati nella Fig. 6 in funzione di un intervallo (minimo strumentale) di tempo di 1 un'ora, anche se gli stessi sono stati analizzati per intervalli di 3, 6, 12 e 24 ore. Quindi, per poter fornire una risposta esauriente al quesito posto relativo all'eccezionalità dell'evento, occorre dapprima individuare tre condizioni:

1) la tendenza degli eventi, che ha portato all'individuazione sul grafico di una retta di equazione:

$$y = -0.6195 \cdot \ln(x) + 24.144 \quad (5)$$

2) i valori registrati inferiori a quello di riferimento e pari a 13.4 mm/h;

3) il valore medio per il periodo di osservazione.

Nel primo caso l'utilizzo della retta di tendenza ha consentito di proiettare i dati nel

futuro fino al 2003, pervenendo ad un valore dell'intensità pari a 19.43 mm/h, ovvero superiore a quello di riferimento. Nel secondo caso i valori inferiori sono risultati di 13 mm/h (1960), 9.2 mm/h (1962), 13 mm/h (1987 e 1998), con la conseguenza che solo in 4 casi su 66 analizzati l'intensità di riferimento è risultata (anche di poco) superiore. Infine, nel terzo caso è stato ottenuto un valore medio di 22.1 mm/h, nuovamente superiore al valore di riferimento. A riprova della validità dei calcoli sono stati successivamente eliminati dai tabulati di calcolo i valori anomali in alto, ovvero i picchi positivi che spiccano marcatamente nel grafico della Fig. 6, ottenendo una nuova condizione, più ottimistica ma non realistica, alla quale corrisponde un valore medio di 17.67 mm/h ovvero pur sempre superiore a quello di riferimento.

In definitiva, l'analisi dei dati ha dimostrato che la precipitazione del 9 settembre 2003 non può essere considerata un evento eccezionale, per la cui corretta interpretazione occorre introdurre ulteriori elementi, ma

DATI ELABORATI RELATIVI ALLE PRECIPITAZIONI ORARIE DEL 9 SETTEMBRE 2003

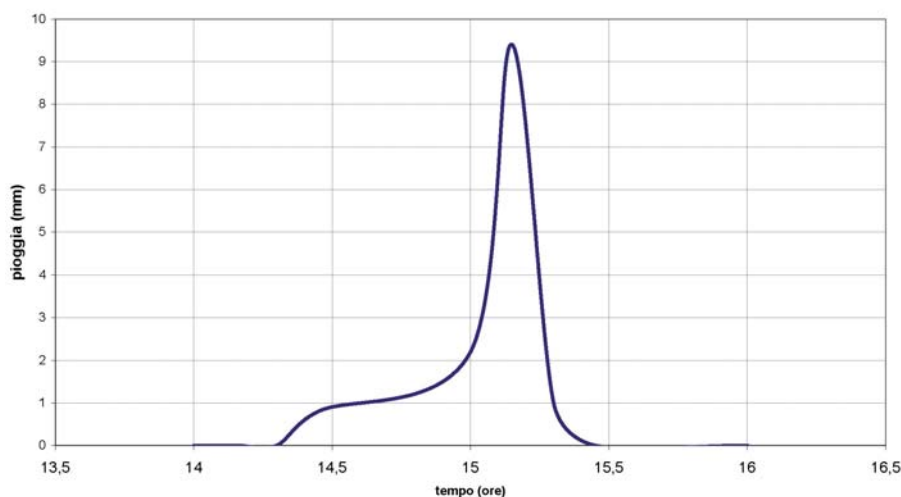


Figura 5 – Grafico della precipitazioni orarie del 9 settembre 2003 ottenuto elaborando mediante una funzione continua i dati di cui alla Fig. 4.

PRECIPITAZIONI INTENSE ANNUALI NEL PERIODO 1929 - 1999
- tempo di riferimento 1 ora -

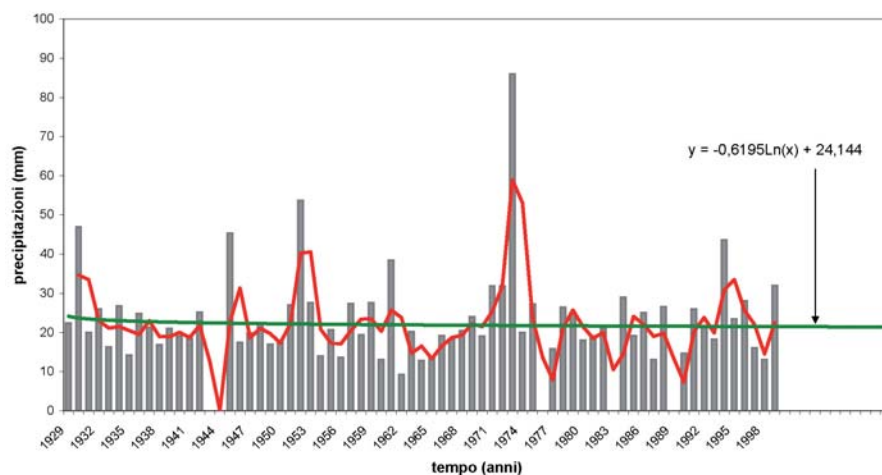


Figura 6 – Curva di tendenza delle intensità massime delle precipitazioni di un'ora, relative al periodo 1929-1999 e proiettata all'anno dell'evento (2003).

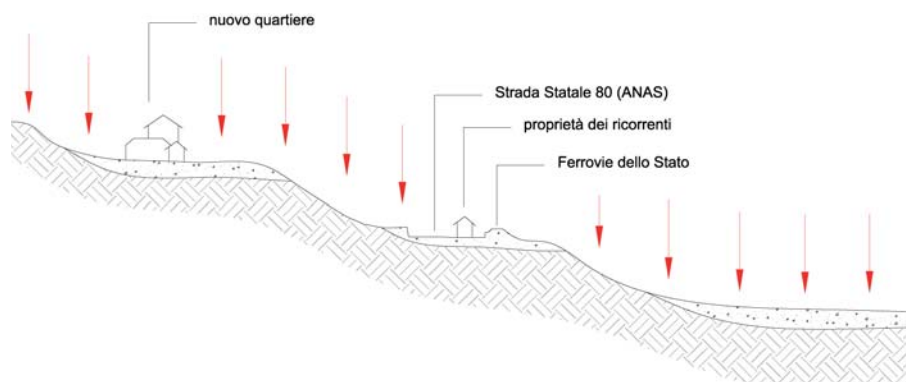


Figura 7 – Sezione stratigrafica schematica con la tipica morfologia a terrazzi fluviali e l'individuazione di alcuni elementi strategici per la comprensione dell'evoluzione del dissesto.

nel contempo è risultata capace di provocare un mare di acqua, fango e detriti.

ANALISI GEOMORFOLOGICA DELL'EVENTO

Ora che sono noti i primi elementi relativi al dissesto idrogeologico del 9 settembre 2003 è possibile fornire anche una chiave di lettura geologica s.l. dello stesso per la cui corretta comprensione occorre riferirsi alla descrizione dell'evoluzione della superficie terrestre, fornita all'inizio, introducendo anche quali sono i principali fattori che concorrono nella definizione dei processi di degrado del suolo.

L'erosione è noto essere un processo fisico naturale responsabile del continuo rimodellamento della superficie terrestre il quale, nei sistemi alterati dall'uomo, subisce un'accelerazione incontrollabile; inoltre, occorre anche considerare che tali processi trovano luogo nella concomitante azione di fattori predisponenti, quali le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni fini, le condizioni di drenaggio e le oscillazioni della zona di aerazione, nonché da fattori scatenanti, come nel caso delle condizioni climatiche (Meisina C., 2003). Ciò comporta che le regioni con clima mediterraneo risultano essere particolarmente esposte al rischio di erosione, proprio per le condizioni climatiche caratterizzate da prolungate siccità seguite da piogge torrenziali: un fenomeno particolarmente intenso nelle aree coltivate, prive di copertura erbacea ed arborea continua.

A tal proposito, i primi studi sulle relazioni intercorrenti tra le caratteristiche del suolo e lo sviluppo dell'erosione risalgono a Bennet K. (1926), a seguito dei quali sono stati proposti degli indici di erodibilità ottenuti a partire dall'analisi del deflusso superficiale. Da allora la ricerca in tale settore ha compiuto molti passi avanti, considerato che oggigiorno è possibile operare con modelli GIS capaci di simulare gli eventi naturali su di un intero bacino o parte di esso anche se il loro uso è limitato a causa dell'enorme mole di dati richiesti.

Grazie a tali studi è oggi noto che il fenomeno del degrado superficiale ha inizio con

l'impatto della singola goccia d'acqua ed il suo successivo deflusso (Bryan K., 1974; Palmer J., 1963; De Ploet & Poesen, 1985; Pineda *et al.*, 2007), conducendo allo sviluppo di due distinti processi geomorfologici: i *processi di interill* e la *rill erosion*. L'entità dell'erosione da impatto dipende dall'energia cinetica della pioggia la quale a sua volta è funzione del tipo di distribuzione spaziale e dell'intensità, alla stregua di quanto introdotto nel paragrafo precedente. Le ricerche hanno, inoltre, messo in evidenza il ruolo giocato anche dalle dimensioni della goccia la quale, sui terreni secchi e sciolti come i suoli di fine estate

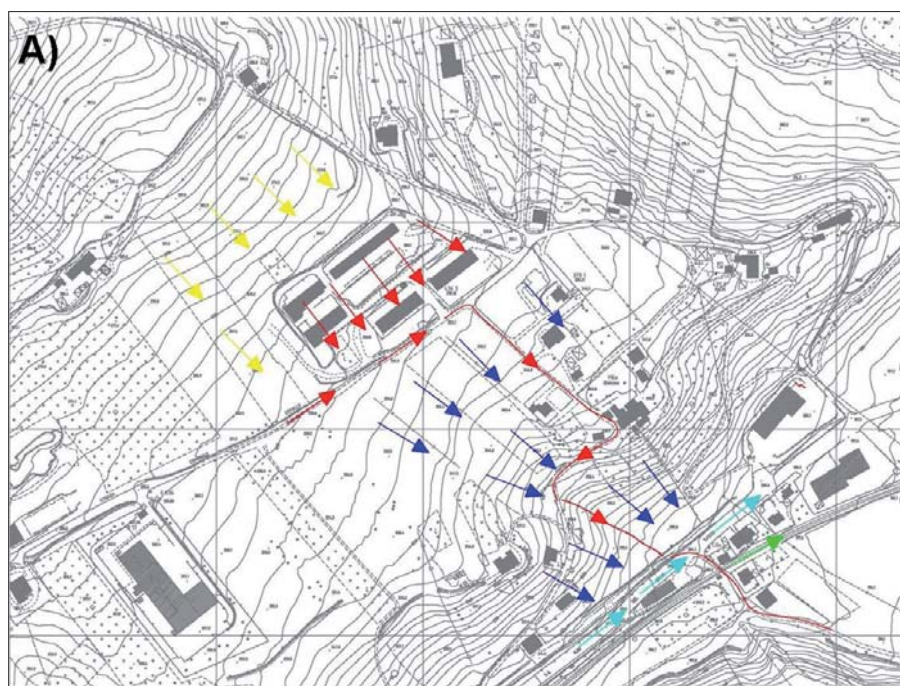


Figura 8 – a) planimetria con la ricostruzione dei flussi idrici del 9 settembre 2003; in rosso e giallo sono indicate le acque di pertinenza del nuovo quartiere di Teramo est; in blu, in ciano e in verde rispettivamente le acque di pertinenza di terreni privati, dell'ANAS e delle Ferrovie dello Stato; b) vista panoramica dell'area con la direzione dei flussi idrici.



Figura 9 – Direzione dei flussi idrici sfuggiti ai sistemi di smaltimento delle acque meteoriche ed incanalate in una strada comunale che ricalca la condizione di massima pendenza.

del centro Italia, sono in grado di distaccare particelle di terreno fino ad una profondità variabile da uno a tre volte di proprio diametro. Di conseguenza, anche se buona parte dell'energia cinetica è spesa nella disaggregazione del suolo, occorre poi considerare un ulteriore effetto di tale interazione, che consiste nell'aumento del grado di saturazione del terreno superficiale conducendo infine alla completa fluidificazione dello stesso in funzione dell'elevato valore del limite liquido di alcuni tipi di argille.

La transizione descritta comporta il passaggio dal campo dei processi di interill, che saranno approfonditi nel paragrafo successivo, al campo della rill erosion ovvero dei flussi di acqua e fango capaci di trasportare anche detriti grossolani in funzione dell'energia di deflusso.

Quest'ultima, poi, dipende dalla portata idrica, la quale a sua volta è funzione delle caratteristiche del suolo, della copertura vegetale e delle condizioni di acclività locali: tutti processi che concorrono nello sviluppo di fenomeni come quello occorso il giorno 9 settembre 2003.

In definitiva, e prima di entrare nel merito dell'argomento da un punto di vista geomorfologico salvo approfondire gli aspetti geologici successivamente, è possibile affermare che i fattori di degrado del suolo sono:

- la natura del terreno;
- la morfologia intesa in termini di pendenza, forma e lunghezza dei versanti;
- il clima, con regimi pluviometrici incoerenti alternati a periodi secchi;
- l'assenza di copertura vegetale;
- l'uomo, con le pratiche agricole ed urbane che comportano il disboscamento e l'impermeabilizzazione del territorio.

Per comprendere appieno quali sono state le cause ed i fattori predisponenti il caso specifico occorre una breve descrizione delle caratteristiche morfologiche dell'area all'interno della quale collocare tutti gli elementi disponibili, a cominciare dall'ubicazione del quartiere, dal quale si ritiene sia iniziato il fenomeno in studio, e delle aree dei privati che hanno invece promosso la causa civile.

L'ambiente in questione può essere considerato come rappresentativo dei processi geomorfologici che hanno avuto luogo durante il Pleistocene, all'interno del quale il territorio è stato interessato dall'alternanza di sistemi morfoclimatici caldi e freddi; a tali alternanze climatiche è allora corrisposto lo sviluppo di processi morfogenetici molto differenti tra loro, fino a raggiungere la configurazione odierna con la tipica conformazione a terrazzi illustrata nella Fig. 7. Da tale descrizione emerge che, in assenza di impatto antropico, i flussi superficiali tendono a scorrere seguendo la massima pendenza, raccogliendosi dapprima in rivoli e successivamente in fossi, ricalcando in questo modo la gerarchia delle aste fluviali la cui genesi ed evoluzione ha richiesto molte migliaia di anni; al contrario, in presenza di attività antropiche tali processi subiscono molte deviazioni e modificazioni che, talora, sfuggono al controllo dell'uomo.

Una corretta comprensione degli eventi del 9 settembre 2009 può ora essere ottenuta con l'analisi della carta dei flussi idrici (Fig. 8a) e con la Fig. 8b che rappresenta una vista panoramica che ben riassume le caratteristiche generali dell'area: un modello la cui costruzione rappresenta la sintesi delle conoscenze morfologiche e morfometriche dell'area, l'individuazione di alcuni segni ancora ben visibili su alcuni edifici e muri di soste-

gno, il tracciamento dell'andamento plano-altimetrico dei sistemi pubblici di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche ed infine di alcune testimonianze raccolte. Quindi, dalla banale lettura della Fig. 8 emerge chiaramente che il problema ha avuto inizio proprio dal nuovo quartiere sito nella periferia est del comune di Teramo, laddove i sistemi pubblici di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche (frecce gialle e rosse) sono successivamente risultati sottodimensionati (da analisi condotte da ingegneri idraulici) fornendo in tal modo una prima spiegazione del fenomeno occorso.

In realtà, integrando gli elementi emersi dall'analisi dei dati pluviometrici con la verifica del sistema fognario, risulta un dato contrastante dal momento che il giorno 9 settembre 2003 il valore limite di quest'ultimo non fu mai raggiunto inducendo a esplorare ulteriori strade. La verità è infine emersa durante il periodo di studi, grazie ad un temporale estivo di breve durata (12 settembre 2007) seguito da una pioggia fine e persistente capace di mettere in crisi il sistema fognario del quartiere in oggetto, con le acque che, influenzate dalla locale topografia modificata dall'impatto antropico, sono state incanalate da una strada comunale la quale, seguendo la condizione di massima pendenza nel tratto iniziale, ha infine condotto verso le sottostanti strada statale e linea ferroviaria (Fig. 8a, frecce ciano e verde) fino a raggiungere le proprietà dei privati danneggiati dall'evento.

La causa? La scarsa manutenzione del sistema di smaltimento pubblico, come chiaramente visibile nella Fig. 9 che mostra il superamento di un tombino e la deviazione delle acque, derivanti da una pioggia di modesta entità, verso la strada comunale citata.

Sintetizzando tutti gli elementi emersi finora, ed integrando la lettura delle Figg. 8 e 9, emerge che il giorno 9 settembre 2003 le acque riuscirono a by-passare i sistemi di raccolta venendo incanalate verso la strada comunale e provocando nel contempo i primi danni alle abitazioni visibili nella Fig. 9 in basso. Successivamente a tale tratto la strada in questione subisce un repentino aumento di pendenza, che si tradusse in un incremento della velocità delle acque e, conseguenzialmente, del loro potere erosivo. Infine, nel tratto terminale della strada è stato rilevato un tombino stradale che, tanto il 12 settembre 2007 quanto il 9 settembre 2003, captò gran parte delle acque deviandole verso un fosso a cielo aperto il quale, attraversando terreni coltivati, conduce infine a scaricare le acque nella sottostante S.S. 80 (freccia ciano) e, da essa, nella linea ferroviaria (freccia verde). In questo modo le acque, dotate di elevata energia cinetica ed incanalate, raggiunsero le proprietà dei privati trasportando fango e

detriti tanto da aver lasciato chiare tracce ancora oggi visibili sui muri di un'officina meccanica posta in corrispondenza del punto di scarico verso la S.S. 80.

Resta, però, ancora un elemento da aggiungere: i terreni posti sulla collina nello spazio compreso tra il quartiere in oggetto e la sottostante strada statale i quali, come indicato nella Fig. 8 dalle frecce blu, alimentarono il flusso delle acque stante l'assenza di copertura vegetale in relazione all'aratura appena conclusa.

ANALISI GEOLOGICA DELL'EVENTO

Una volta definito il modello di deflusso delle acque è infine possibile fornire un'interpretazione scientifica degli eventi del 9 settembre 2003, considerato che l'anno in questione, al pari del 2001, fu caratterizzato da un regime pluviometrico sostanzialmente scarso tanto da portare i terreni ad uno stato di deficit idrico.

Il problema, pur nella sua apparente banalità, è stato affrontato rigorosamente da Costantini *et al.* (1999), come illustrato nella Fig. 10A relativa al regime termico del suolo

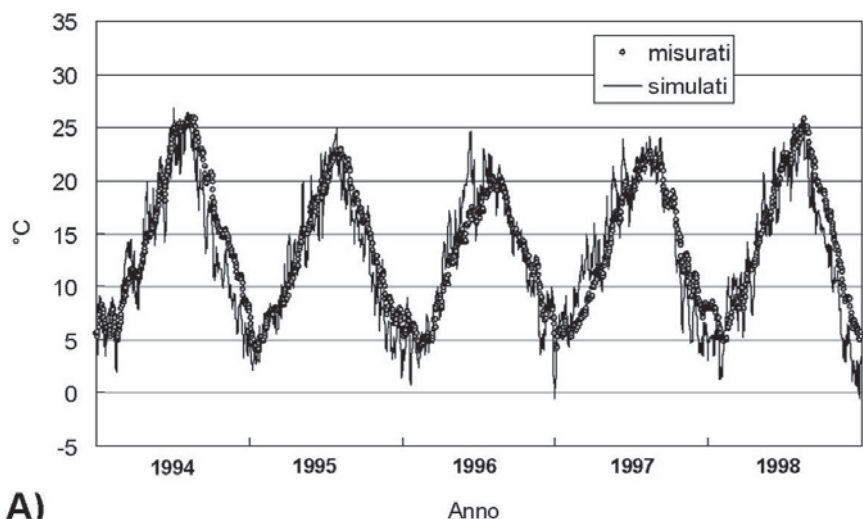
ricostruito in alcune stazioni sperimentali del centro Italia, i cui risultati hanno mostrato un andamento ciclico annuale della temperatura con valori prossimi a quella dell'aria; non solo: dallo stesso è anche emersa una concomitante oscillazione della capacità idrica di campo dei terreni che diventano, almeno nei primi decimetri, forti consumatori di acqua. In definitiva, ciò che emerge da tale studio è che la temperatura dell'aria e quella del suolo a 50 centimetri di profondità non variano sensibilmente, con una differenza che risulta contenuta in una forbice piuttosto ristretta con variazioni massime registrate prossime ad 1.6°C; nel contempo, a tale variazione corrisponde una diminuzione della capacità idrica di campo di ben 12 punti percentuali (Di Francesco R., 2008), capace da sola di spiegare gli effetti derivanti dall'interazione tra il regime termico dell'aria e quello del suolo (Fig. 10B). Quindi, nel 2003, pur con un regime termico del suolo normale rappresentabile da una sinusoide (o da una cosinusoide) del tipo mostrata nella Fig. 10A, i terreni dell'ambiente collinare descritto si presentarono a fine estate poveri di acqua,

con uno stato di disgregazione accentuato dalle recenti pratiche agricole di arature e pertanto in assenza di copertura vegetale; in tali condizioni un banale acquazzone riuscì a provocare l'asportazione meccanica delle particelle fillosilicatiche le quali, in relazione anche ad uno sbilanciamento delle cariche elettriche presenti sulla propria superficie, si legarono facilmente ai dipoli delle molecole di acqua fluidificandosi in una massa di acqua e fango in sospensione.

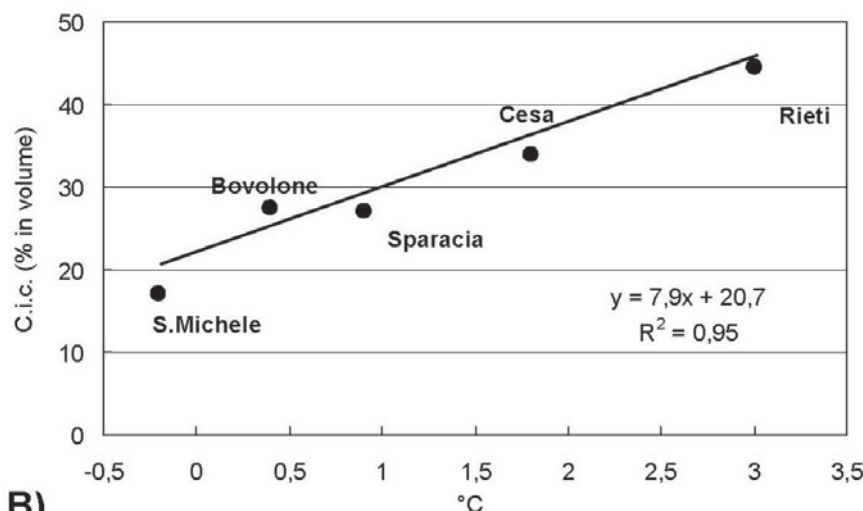
Il fenomeno fu infine amplificato da due fattori concomitanti: l'aumento di pendenza dei terreni immediatamente a ridosso della S.S. 80 (Figg. 7 e 8) e l'arrivo di una massa d'acqua, non controllata, dal quartiere sovrastante la quale, identificabile in molte centinaia di metri cubi (considerando la parte comunque captata dai sistemi di smaltimento – dati calcolati ma omessi per semplicità illustrativa), esercitò un "effetto ariete" sul fosso che attraversa tali terreni e, trascinando, un "effetto aratro" su quest'ultimi.

BIBLIOGRAFIA

- BENNET K. (1926), *Some comparisons of the properties of human tropical and humid temperature american soils, with special reference to indicated relationship between chemical composition and physical properties*. Soil Sci., n. 21.
- BRYAN M. (1974), *Water erosion by splash and wash and erodibility of Albertan soils*. Geogr. Ann., n. 59A.
- COSTANTINI E.A.C., CASTELLI F., IORI M., MAGINI S., LORENZONI P., RAIMONDI S. (1999), *Regime termico del suolo in alcuni campi sperimentali del nord, centro e sud Italia*. Convegno SISS "La scienza del suolo in Italia: bilancio di fine secolo", Gressoney Saint Jean.
- DE PLOEY J., POESSEN J. (1985), *Aggregate stability runoff generation and interill erosion*. Geomorphology and Soils, George Allen and Unwin, London.
- DI FRANCESCO R. (2008), *Lesioni degli edifici: applicazione di geotecnica e geofisica nell'analisi dei cedimenti delle fondazioni*. Ulrico Hoepli Editore Spa, Milano.
- MEISINA C. (2003), *Studio del fenomeno di ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi a supporto degli strumenti urbanistici*. 1° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Geologia Applicata e Ambientale, Università di Pescara e Chieti.
- PALMER J. (1963), *The influence of thin water layer on water drop impact forces*. Hearsh Surface Processes Landforms 7.
- PINEDA-JAIMES J.A., COLMENARES-MONTANES J.E. (2007), *Influencia de la desecación en el comportamiento volumetrico de la arcilla de Bogotá*. XIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica SVDG, Isla de Margherita, Venezuela.



A)



B)

Figura 10 – A) andamento ciclico della temperatura del suolo misurata a 50 centimetri di profondità; B) relazione tra la capacità idrica di campo del suolo e la differenza tra le medie annuali della temperatura dell'aria e del suolo misurata a 50 centimetri di profondità (da: Costantini *et al.*, 1999).