

# DISSESTO IDROGEOLOGICO: EMERGENZA PERENNE PER LE INFRASTRUTTURE VIARIE

LE FRANE INTERESSANO NON SOLTANTO I CENTRI ABITATI, MA ANCHE LE RETI VIARIE EXTRAURBANE:  
I CASI DEI VIADOTTI CROLLATI IN SICILIA E IN LIGURIA

(Photo credit: [www.ambientesicurezzaweb.it](http://www.ambientesicurezzaweb.it))

**C**on l'ampio termine "dissesto idrogeologico" vengono indicati un complesso di fenomeni e danni in cui l'elemento fondamentale per il verificarsi dello stesso è costituito dalla presenza di acqua, nelle sue forme liquida o solida, e localizzata in superficie o nel sottosuolo. Fenomeni idrogeologici sono frane, alluvioni, erosioni costiere, subsidenze e valanghe.

Il fenomeno assume rilevante importanza in Italia: dai dati dell'ISPRA (2018), 7.275 Comuni (91% del totale) sono a rischio per frane e/o alluvioni, 1,28 milioni di abitanti sono a rischio frane e oltre 6 milioni di abitanti a rischio alluvioni.

Oltre al costo delle vite umane, l'impatto del dissesto idrogeologico assume un rilevante costo in termini economici sul tessuto produttivo e le sue infrastrutture.

Storicamente, il processo ha avuto un'evoluzione negativa, le cui cause sono legate a una sottovalutazione del problema in un contesto storico in cui l'antropizzazione è cresciuta nel Paese esponenzialmente con l'espansione dei centri abitati e delle relative infrastrutture di comunicazione e contemporaneamente è avvenuto l'abbandono dei territori montani: di contro non è seguita una corretta pianificazione territoriale. Certamente, l'orografia del territorio nazionale è penalizzante sotto questo aspetto, vista la prevalenza montano-collinare del territorio italiano (circa il 75%).

## HYDROGEOLOGICAL INSTABILITY: A PERENNIAL EMERGENCY FOR ROADS INFRASTRUCTURES

**LANDSLIDES AFFECT NOT ONLY INHABITED  
CENTRES, BUT ALSO EXTRA-URBAN  
INFRASTRUCTURAL ROADS: THE CASES OF  
COLLAPSED VIADUCTS IN SICILY AND LIGURIA**

**T**he wide term "hydrogeological instability" indicates a complex of phenomena and damages in which the fundamental element for its occurrence is the presence of water, in its liquid or solid forms, and located on the surface or in the subsoil. Hydrogeological phenomena are landslides, floods, coastal erosions, subsidences and avalanches.

The phenomenon assumes significant importance in Italy: from ISPRA (2018) data, 7,275 municipalities (91% of the total) are at risk from landslides and/or floods; 1.28 million inhabitants are at risk of landslides and over 6 million inhabitants at risk of floods.



1. (Photo credit: [www.ufficiostampa.provincia.tn.it](http://www.ufficiostampa.provincia.tn.it))

Le accresciute sensibilità ambientali - e le gravissime perdite in termini di vite umane - hanno avuto un effetto legislativo sulla politica del territorio tale che sono stati applicati, finalmente, strumenti moderni al fine di pianificare in sicurezza nel territorio e/o mitigare le aree urbanizzate e le sue infrastrutture. Se è vero che già nel 1989 (Legge n° 183 del 18 Maggio) vengono individuate le Autorità di Bacino, è con l'emanazione del Decreto Legge n° 180 dell'11 Giugno 1998 - convertito nella L. 267/1998 - che viene impressa un'accelerazione all'individuazione, alla

In addition to the cost of human lives, the impact of hydrogeological instability assumes a significant cost in economic terms on the production fabric and its infrastructures.

Historically, the process has had a negative evolution, the causes of which are linked to an underestimation of the problem in a historical context in which anthropization has grown exponentially in the country with the expansion of inhabited centers and related communication infrastructures and at the same time the abandonment of mountain areas: on the other hand, correct territorial planning was not followed. Certainly the orography of the national territory is penalizing in this respect, given the mountain-hilly prevalence of the Italian territory (about 75%).

The increased environmental sensitivity, and the very serious losses in terms of human lives, have had a legislative effect on the policy of the territory such that modern instruments have finally been applied in order to plan safely in the territory and/or mitigate the areas urbanized and its infrastructure. If it is true that already in 1989 (Law no. 183 of 18 May) the Basin Authorities are identified, it is with the enactment of Law Decree no. 180 of 11 June 1998, converted into Law 267/1998, which accelerates the identification, perimeter and classification of the areas at risk and hydrogeological risk for landslides and floods, up to the adoption of the Basin Excerpt Plans for the hydrogeological structure (P.A.I.).

Vary authors have concentrated their studies on landslides using the two main disciplines involved in the phenomenon, namely geotechnics (soil mechanics and rock mechanics) and hydraulics; geology constitutes, as is obvious, the "plot" of the prob-

TIPO DI MOVIMENTO / TYPE OF MOVEMENT		TIPO DI MATERIALE / CHARACTERISTICS OF THE MATERIAL		
		ROCCIA / ROCK	DETRITO / DEBRIS	TERRENO / LOOSE SOIL
Crollo / Fall		Crollo di roccia / Rock collapse	Crollo di detrito / Debris collapse	Crollo di terreno / Loose soil collapse
Ribaltamento / Toppler		Ribaltamento di roccia / Rock tilting	Ribaltamento di detrito / Debris tilting	Ribaltamento di terreno / Loose soil tilting
Scorrimento o scivolamento / Slide	Rotazionale / Rotational	Scorrimento rotazionale di roccia / Rotational sliding of the rock	Scorrimento rotazionale di detrito / Rotational sliding of the debris	Scorrimento rotazionale di / Rotational sliding of the loose soil
	Traslazionale / Translational	Scorrimento traslazionale di roccia / Translational sliding of the rock	Scorrimento traslazionale di detrito / Translational sliding of the debris	Scorrimento traslazionale di terreno / Translational sliding of the loose soil
Espansione laterale / Lateral spread		Espansione laterale di roccia / Lateral spread of rock	Espansione laterale di detrito / Lateral spread of debris	Espansione laterale di terreno / Lateral spread of loose soil
Colata o flusso / Flow		Flusso di roccia (deformazione gravitativa profonda di versante) / Rock flow (deep slope gravitational deformation)	Colata di detrito / Debris flow	Colata di terreno / Loose soil flow
Frana complessa o composta / Complex landslide		Combinazione di due o più tipi nello spazio (diversi tipi di movimento in diverse zone del corpo di frana) e/o nel tempo (evoluzione del movimento da un tipo di frana all'altro) / Combination of two or more types in space (different types of movement in different areas of the landslide) and/or in time (evolution of movement from one type of landslide to another)		

2. La classificazione di Cruden & Varnes (aggiornata da Hungr, Leourell e Picarelli, 2013)

2. The Cruden & Varnes classification (updated by Hungr, Leourell and Picarelli, 2013)



3A e 3B. (photo credit: [www.madoniepress.it](http://www.madoniepress.it) (3A) e [www.mit.gov.it](http://www.mit.gov.it) (3B))

perimetrazione e alla classificazione delle aree a pericolosità e rischio idrogeologico per frane e alluvioni, fino all'adozione dei Piani stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

Numerosi Autori hanno concentrato gli studi sulle frane utilizzando le due principali discipline coinvolte nel fenomeno, e cioè la geotecnica (meccanica dei terreni e meccanica delle rocce) e idraulica.

La geologia costituisce, come è ovvio intuire, la "trama" del problema: tra le decine di Autori, la classificazione di Varnes (1978) e di Cruden & Varnes (1996) (Figura 2) sembra essere quella più applicata per la sua intuitività, ma qualunque metodologia applicata non può prescindere dallo stabilire nel modo più affidabile possibile quali sono i parametri morfometrici delle frane e il probabile sviluppo nel tempo del fenomeno, per giungere a una potenziale previsione di pericolosità (e quindi una valutazione del rischio).

In contesti rocciosi, poi, la meccanica delle rocce trova la sua espressione più completa con lo studio del modello geologico e geotecnico, laddove esso diventa particolarmente impegnativo vista la natura anisotropa, discreta e discontinua dell'ammasso roccioso: è di fondamentale importanza la ricostruzione di tutte le soluzioni di continuità (giunti, diaclasi, faglie), sede preferenziale di scivolamento gravitazionale (purché le condizioni geometriche siano sfavorevoli cioè "a franapoggio"), tramite rilievi in corda e/o laserscanner, e le cui risultanze siano finalizzate a una delle numerose analisi numeriche in campo statico e dinamico (allo stato attuale sono molto utilizzate le analisi ad elementi finiti e ad elementi discreti).

lem: among the dozens of authors, the classification of varnes (1978) and Cruden & Varnes (1996) (Figure 2) seems to be the most applied for its intuitiveness, but any methodology applied cannot fail to establish in the most reliable way what are the morphometric parameters of the landslides and the probable development of the phenomenon over time, in order to arrive at a potential hazard forecast (and therefore a risk assessment). In rocky contexts then, the rock mechanics finds its most complete expression with the study of the geological and geotechnical model, where it becomes particularly challenging given the anisotropic, discrete and discontinuous nature of the rock mass. The reconstruction of all the continuity solutions (joints, diaclases, faults) is of fundamental importance: they are preferential seat of gravitational sliding (provided that the geometric conditions are unfavorable, that is to say "in franapoggio") by surveying with ropes on the rock side, and/or laser scanners, and the results of which are aimed at one of the numerous numerical analyzes in the static and dynamic field (at present, finite element and discrete element analyzes are widely used).

### THE COLLAPSE OF THE HIMERA VIADUCT IN SICILY

That the mechanisms that regulate the failures are complex and deeply multidisciplinary demonstrate the events. An example for all is the collapse of the Himera viaduct in Sicily along the A19 motorway between Palermo and Catania: the event of 10<sup>th</sup> April 2015 involved the sequence of 16-22 piles, six spans, of the motorway viaduct towards Catania involving the closure of the motorway section for 16 km (Figure 3A and 3B).

The landslide involves mainly clayey lithotypes, easily modeled and susceptible to gravitational movements. In this case, a decisive action took place according to a surface instability mechanism linked to an erosive action of the alteration blanket of the geological formation in place (Flysch Numidico and Argille Varicolori); groundwater infiltrating the permeable horizons of these geological formations contributed to varying their weight by favoring the formation of preferential sliding surfaces.

The "washout" and "effective infiltration" have therefore played a fundamental role, with both laminar and embryonic runoff action up to an erosion concentrated in already stabilized grooves

### IL COLLASSO DEL VIADOTTO HIMERA IN SICILIA

Che i meccanismi che regolano i dissesti siano complessi e profondamente multidisciplinari lo dimostrano gli eventi. Un esempio per tutti è il crollo del viadotto Himera in Sicilia, lungo l'Autostrada A19 tra Palermo e Catania: l'evento del 10 Aprile 2015 ha interessato la sequenza delle pile 16-22, sei campate, del viadotto autostradale in direzione Catania comportando la chiusura del tratto autostradale per 16 km (Figure 3A e 3B).

Lo scoscendimento interessa litotipi prevalentemente argillosi, facilmente modellabili e suscettibili ai movimenti gravitativi. In questo caso, un'azione determinante è avvenuta secondo un meccanismo di dissesto superficiale legato a un'azione erosiva della coltre di alterazione della formazione geologica in posto (Flysch Numidico e argille varicolori); le acque sotterranee, infiltrandosi negli orizzonti permeabili di dette Formazioni geologiche, hanno contribuito a variare il loro peso di volume favorendo la formazione di superfici preferenziali di scivolamento. Il "dilavamento" e "l'infiltrazione efficace" hanno dunque svolto un ruolo fondamentale, con un'azione sia di tipo laminare che di ruscellamento embrionale fino a un'erosione concentrata in solchi già stabilizzati che tendono progressivamente ad approfondirsi fino a veri e propri fenomeni di processi gravitativi. Questi ultimi, degenerando, si sono evoluti in colamenti e scorrimenti roto-traslazionali. Gli spessori interessati non sembrano essere elevati, ma sono stati sufficienti a modificare l'assetto delle pile fondazionali, nel tratto in direzione Catania, le quali si sono "appoggiate" a quelle del viadotto adiacente.

Sono stati dunque gli effetti combinati degli agenti esogeni, soprattutto le precipitazioni meteoriche di una certa intensità con le emergenze idriche poste nelle zone di monte ("sorgenti a permeabilità sovrainposta"), che hanno generato l'imbibizione e completa saturazione della coltre d'alterazione, che in funzione della morfologia esistente sono scese lungo i versanti. I sopralluoghi hanno rilevato lenti colamenti di masse terrigene superficiali della coltre alterata (soliflussi-soilcreep) e vere e proprie frane a fenomenologia diversa.

### LA FRANA A MADONNA DEL MONTE, IN LIGURIA

Un fenomeno simile è avvenuto domenica 24 Novembre 2019, alle ore 14.00, in corrispondenza del tratto autostradale tra l'interconnessione di Savona e lo svincolo di Altare del tronco autostradale A6 Torino-Savona, ove si è verificata una frana su un declivio a bassa suscettività che ha interessato il versante in località Madonna del Monte, nel comune di Savona (Figura 4). Il corpo di frana ha raggiunto il fondovalle, danneggiando irreparabilmente il viadotto autostradale denominato Madonna del Monte e alcune pile dell'adiacente viadotto in carreggiata sud, il Rio Valletta, occludendo parzialmente il corso d'acqua. Il meccanismo di dissesto si è originato inizialmente come scivolamento rotazionale di una porzione della parte sommitale del versante, che è evoluto in una colata rapida di detrito e fango a causa delle elevate pendenze. L'area in dissesto, nonostante abbia un bacino idrografico inferiore a 0,1 km<sup>2</sup>, ha una superficie stimata di circa 14.000 m<sup>2</sup> e ha movimentato, dalle prime analisi, sino a 30.000 m<sup>3</sup> di materiale, parte del quale è ancora sospeso sul versante. È scesa velocemente da un'altezza di 300 m lungo il versante a circa 20 m al secondo, con un impatto sui piloni de-

*that tend to progressively deepen to real phenomena of gravitational processes. The latter degenerating have evolved into rotational and translational flows. The thicknesses concerned do not seem to be high, but have been sufficient to modify the structure of the foundational stacks, in the stretch towards Catania, which they are "supported" by those of the adjacent viaduct. The combined effects of the exogenous agents were therefore, mainly all the rainfall of a certain intensity and the water emergences located in the upstream areas ("sources with superimposed permeability"), which generated the imbibition and complete saturation of the alteration blanket which, depending on the existing morphology, is collapsed along the slopes. The inspections revealed slow leaks of terrigenous masses of the altered blanket (soliflussi-soilcreep) and landslides with different phenomenology.*

### THE LANDSLIDE OF MADONNA DEL MONTE IN LIGURIA

*A similar phenomenon occurred on Sunday 24<sup>th</sup> November 2019 at approximately 2.00 pm at the motorway section between the Savona interconnection and the "Altare junction" of the Turin-Savona A6 motorway section, where a landslide occurred on a low-susceptibility slope that affected the hill in Madonna del Monte, in the Municipality of Savona (Figure 4).*

*The landslide body reached the bottom of the valley, irreparably damaging the highway viaduct called "Madonna del Monte". and some piles of the adjacent viaduct in the south carriageway, the Rio Valletta, partially blocking the waterway.*

*The failure mechanism originated initially as a rotational sliding of a portion of the top of the slope, which evolved into a rapid flow of debris and mud due to the high slopes. The failing area, despite having a water basin area of less than 0.1 km<sup>2</sup>, has an estimated area of approximately 14,000 m<sup>2</sup> and has handled, from the first analyzes, up to 30,000 m<sup>3</sup> of material, part of which is still suspended on the slope. It quickly fell from a height of 300 m along the slope to about 20 m per second, with a devastating impact on the pylons; the first estimates also calculated that another 15.000 m<sup>3</sup> of land are in a "quiescent" phase and that therefore they can detach in the future.*



4. (photo credit: [www.edilportale.com](http://www.edilportale.com))

vastante; le prime stime hanno calcolato inoltre che altri 15.000 m<sup>3</sup> di terreni sono in un fase "quiescente" e che dunque possono staccarsi in futuro. Il meccanismo è originato dalla grande quantità di pioggia caduta nei mesi precedenti a provocare lo smottamento di un terreno agricolo e abbandonato in una zona considerata a rischio da moderato a basso.

Al cosiddetto "dissesto idrogeologico" in senso lato vengono inoltre attribuite problematiche in cui l'Idraulica e l'Idrogeologia svolgono ruoli predominanti: l'Idraulica e l'Idrologia contemplano gli effetti indotti sul territorio dal superamento dei livelli idrometrici critici (possibili eventi alluvionali) dell'acqua all'interno degli alvei, mentre l'Idrogeologia ricostruisce le interazioni e le dinamiche tra le acque di precipitazione di origine meteorica ruscellanti con il suolo e quelle infiltratesi all'interno di esso tramite porosità del sedimento e/o sistemi fratturativi.

Un modello idraulico e idrogeologico affidabile permette, anche in questo caso come in quello delle frane, di ipotizzare l'evenienza di un'alluvione secondo diverse ipotesi di regimi pluviometrici e dunque di intervenire progettando correttamente le sezioni idrauliche dei ponti, le opere di difesa, le dimensioni delle aree golenali, le distanze di rispetto dei vincoli di inedificabilità lungo i corsi d'acqua.

A corollario degli interventi appena accennati, deve essere innescato un virtuoso sistema di sorveglianza (ad esempio tramite interferometria SAR dei versanti) e manutenzione del territorio, oltre che la necessità di un monitoraggio "esperto" delle infrastrutture attraverso presidi costituiti da tecnici formati ad hoc per la valutazione dell'evoluzione degli scenari di rischio in un ambito significativo dal punto di vista geomorfologico, in un'ottica di prevenzione. Ciò permetterà di agire secondo i criteri di prevenzione che, se fossero finora stati rigorosamente applicati, avrebbero certamente permesso un risparmio di vite umane e risorse economiche... ma questa è un'altra storia. ■

<sup>(1)</sup> *Geologo, Membro della Commissione Geotecnica e Lavori Pubblici del Consiglio Nazionale dei Geologi*

## Bibliografia / Bibliography

- [1]. ANAS SpA - A.A.V.V.: Autostrada A19 Palermo-Catania - ricostruzione della carreggiata dir. Catania del viadotto Himeria I tra le pile n° 16 e n° 22", Progetto preliminare, Nov. 2015.
- [2]. A. Trigila, C. Iadanza, M. Bussetini, B. Lastoria - "Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio", ISPRA (1) Dip. per il Servizio Geologico d'Italia, (2) Dip. per il monitoraggio e la tutela dell'ambiente e per la conservazione della biodiversità, edizione 2018.
- [3]. D.M. Cruden, D.J. Varnes - "Landslides: investigation and mitigation", Chapter 3 - Landslide types and processes, Transportation Research Board special report, vol. 247, 1996.
- [4]. Informativa urgente del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti P. De Micheli alla Camera dei Deputati sul crollo del viadotto sulla A6 Savona-Torino.
- [5]. David M. Cruden, Varnes David J., Landslides - "Investigation and mitigation. Chapter 3 - Landslide types and processes", Transportation Research Board, special report, vol. 247, 1996.



5. Il cantiere delle indagini geostatiche presso Scillato (PA) (photo credit: D.Causapruno)

5. The site of geological surveys in Scillato (PA) (photo credit: D.Causapruno)

The mechanism is originated from the large amount of rain that fell in the previous months causing landslides in an agricultural and abandoned area, before considered to be moderate to low risk. To the so-called "hydrogeological instability", wide term are also attributed problems in which Hydraulics and Hydrogeology play predominant roles: Hydraulics and Hydrology contemplate the effects induced on the territory by exceeding critical hydrometric levels (possible flood events) of the water inside the riverbeds, while Hydrogeology reconstructs the interactions and the dynamics between the rainwater of meteoric origin running down on the soil and those infiltrated within it through porosity of the sediment and / or fracturing systems.

A reliable hydraulic and hydrogeological model allows, also in this case as in that of landslides, to hypothesize the occurrence of a flood according to different hypotheses of rainfall regimes and therefore to intervene by correctly designing the hydraulic sections of the bridges, of the defense works, the dimensions of the floodplains, the distances to respect the constraints of building ban along the waterways.

As a corollary of the interventions just mentioned, a virtuous surveillance system (for example through SAR interferometry of the slopes) and maintenance of the territory must be performed, as well as the need for "expert" monitoring of the infrastructures through devices consisting of technicians trained ad hoc for the evaluation of the risk scenarios in a significant context from a geomorphological point of view, with a focus to prevention. This will allow to act according to the prevention criteria which, if they had been rigorously applied so far, would certainly have led to savings in human lives and economic resources... but that's another story. ■

<sup>(1)</sup> *Geologist, member of the Geotechnical and Public Works Commission of the Consiglio Nazionale dei Geologi*