



Interazioni tra dissesti idrogeologici e sistema ferroviario: proposta di analisi con approccio sintetico

Interactions between hydrogeological instability and railway system: analysis proposal with synthetic approach

Dott. Geol. Diego DELLI CARRI^(*)
Prof. Ing. Gabriele MALAVASI^(**)
Dott. Ing. Quintilio NAPOLEONI^(**)

Sommario - Il presente lavoro ha l'obiettivo di contribuire all'analisi delle interazione tra lo stato del dissesto idrogeologico ed il trasporto ferroviario.

A tal fine viene proposto un approccio sintetico di tipo statistico descrittivo che evidenzia le correlazioni tra indicatori macroscopici del fenomeno franoso e indicatori di uso del territorio da parte del sistema dei trasporti.

Il modello sintetico è sviluppato sulla base delle carte inventario pubbliche, disponibili presso istituzioni territoriali, che riportano le criticità del territorio italiano rispetto ai fenomeni franosi.

Le conseguenze sulla circolazione ferroviaria sono state analizzate attraverso l'esame delle interruzioni della circolazione comunicate agli utenti. Il modello ipotizzato può fornire una indicazione preliminare sulle aree della rete ferroviaria potenzialmente esposte ad un rischio maggiore.

Un monitoraggio di tipo puntuale o estensivo, di cui vengono analizzati e proposti alcuni esempi, potrebbe integrare i dati disponibili e migliorare il modello proposto.

1. Introduzione

Il trasporto ferroviario svolge una funzione fondamentale per lo sviluppo delle attività socio-economiche di un paese.

I dissesti idro-geologici che coinvolgono la rete ferroviaria possono produrre effetti negativi sulla regolarità del servizio, provocare interruzioni della circolazione e, nei casi più gravi, causare danni a persone e cose.

La rete ferroviaria, anche nelle regioni in cui si ha una elevata densità di infrastrutture ferroviarie, non offre, in

Summary - This paper aims at contributing to the analysis of the interaction between the status of hydrogeological instability and rail transport.

To this end a descriptive statistical summary approach is proposed that highlights the correlations between macroscopic indicators of the landslide phenomenon and land-use indicators by the transportation system.

The synthetic model is developed based on public inventory maps available at territorial institutions, which report the critical aspects of the Italian territory with regard to landslides.

The consequences for rail traffic were analysed through examination of traffic interruptions communicated to users. The model proposed may provide a preliminary indication on the areas of the railway network potentially exposed to greater risk.

Timely or extensive monitoring, of which some examples are analysed and proposed, could supplement the available data and improve the proposed model.

1. Introduction

Rail transport plays a fundamental role in the development of socio-economic activities of a country.

Hydro-geological instability involving the rail network can have adverse effects on the regularity of service, cause traffic disruption and, in severe cases, cause damage to persons and property.

The railway network, even in regions where there is a high density of railway infrastructures, does not generally offer alternatives in case of inaccessibility of an arc: the ef-

^(*) Geologo Libero Professionista.

^(**) Sapienza Università di Roma.

^(*) Freelance Geologist.

^(**) University of Rome La Sapienza.

SCIENZA E TECNICA

generale, alternative di collegamento in caso di inagibilità di un arco: gli effetti delle interruzioni potrebbero ripercuotersi direttamente e rapidamente su vaste aree.

I dissesti idro-geologici derivano da fenomeni complessi dipendenti dalle condizioni ambientali e climatiche, dalle caratteristiche geo-strutturali di una regione e dalle modalità di uso del suolo e sono in genere difficili da prevedere.

Le conseguenze hanno effetti non solo sul sistema dei trasporti ma su tutte le attività antropiche.

Ciò ha portato allo sviluppo di attività di studio e classificazione del territorio dal punto di vista geologico e ha consentito il perfezionamento di strumentazioni e metodologie di monitoraggio dei movimenti e delle trasformazioni, che possono essere utili per l'analisi delle possibili interazioni con il sistema dei trasporti.

L'estensione del fenomeno da un lato e la dimensione del sistema di trasporto ferroviario dall'altro, hanno portato inevitabilmente a situazioni di interazione territoriale in cui la rete ferroviaria attraversa aree che potrebbero essere interessate da fenomeni di dissesto idro-geologico di più o meno elevata intensità.

Con il presente lavoro si vuole dare un contributo all'analisi del problema mediante un approccio sintetico descrittivo della situazione territoriale, delle conseguenze sulla circolazione e di alcuni sistemi di monitoraggio che potrebbero essere adottati in un sito specifico o su aree più vaste.

2. Rappresentazione territoriale del fenomeno franoso

2.1. Modalità di studio e classificazione

2.1.1. Modelli rappresentativi

Per prevedere la pericolosità, l'intensità e l'estensione areale del fenomeno franoso sono attualmente utilizzati modelli di simulazione analitici e numerici, sulla base delle caratteristiche geologiche, geotecniche ed idrogeologiche di un'area e dei cinematismi in atto.

Per lo studio è stato proposto un approccio statistico descrittivo sintetico, al fine di evidenziare le correlazioni tra indicatori macroscopici del fenomeno franoso, che, integrate con gli indicatori di uso del territorio da parte del sistema dei trasporti, potrebbero fornire preliminari indicazioni di supporto alle decisioni strategiche per la scelta delle tipologie di intervento preventivo.

Il modello sintetico è stato studiato con riferimento alla situazione nazionale costituita da un territorio giovane da un punto di vista geologico e quindi caratterizzato da numerosi agenti *morfoevolutivi* per il modellamento dei versanti, tra cui, di primaria importanza, i fenomeni franosi.

ffects of interruptions could be directly and rapidly reflected over large areas.

Hydro-geological instability arises from complex phenomena dependent on environmental and climatic conditions, geo-structural characteristics of a region and the way land is used and are generally difficult to predict promptly.

The consequences have an impact not only on the transport system but on all human activities.

This has led to the development of the study and classification of the area from a geological point of view, and has allowed the development of tools and methodologies to monitor movements and transformations, which can be useful for analysing possible interactions with the transport system.

The extension of the phenomenon on the one hand and the size of the rail transport system on the other, have led inevitably to territorial interaction situations where the railway network runs through areas that might be affected by more or less high intensity hydro-geological instability.

This paper wants to contribute to the analysis of the problem by using a synthetic approach describing the territorial situation, the consequences on circulation and some monitoring systems that could be adopted in a specific site or in large areas.

2. Territorial representation of landslides

2.1. Study and classification method

2.1.1. Representative models

Analytical and numerical simulation models are currently used to estimate the dangerousness, intensity and range extension of landslides, based on the geological, geotechnical and hydrogeological characteristics of an area and the kinematics in place.

A descriptive statistical summary approach was proposed for the study, in order to highlight the correlations between macroscopic indicators of landslides, which, together with indicators of land use by the transport system, could provide preliminary strategic decision support indications for the choice of types of preventive intervention.

The synthetic model was studied with regard to national circumstances comprising a young territory from a geological point of view and therefore characterised by numerous morphological and developmental agents, including the sculpting of slopes, among which landslides of primary importance.

2.1.2. Important descriptive elements for a macroanalysis

Landslides are typically described by numerous components (geological, lithological, morphometric, hydrodynamic, slope exposure, land use, initiator events, kinematics, etc.) that allow a sufficiently representative and satisfying modelling thereof for specific individual phenomena, for entire slopes or, at worst, for entire catchment areas but not likewise for the macroscopic and synthetic schematisation

SCIENZA E TECNICA

2.1.2. Elementi descrittivi rilevanti per una macroanalisi

Il fenomeno franoso è descritto in genere da numerose componenti (geologiche, litologiche, morfometriche, idrodinamiche, esposizione del versante, uso del suolo, eventi iniziatori, cinematiche, ecc.) che permettono una sua modellazione sufficientemente rappresentativa e soddisfacente per specifici singoli fenomeni, per interi versanti o, al limite, per interi bacini ma non altrettanto per la schematizzazione macroscopica e sintetica delle varie manifestazioni del fenomeno alla scala del territorio nazionale.

In questo studio gli elementi presi in considerazione derivano dalle carte inventario ed essenzialmente sono: la distribuzione numerica e geografica del fenomeno sui territori regionali e provinciali, l'ampiezza delle aree interessate e lo stato di attività delle frane.

Tali elementi consentono di ottenere in modo sintetico, informazioni preziose sulla fenomenologia franosa presente sul territorio.

Inoltre, essi sono coerenti con la classificazione normalmente utilizzata per questi fenomeni (CRUDEN and VARNES, 1996 [1]) e con i criteri di raccolta dei dati a livello nazionale (Inventario Fenomeni Fransi Italiani, Progetto IFFI, 2007 [2]).

Ad esempio, l'estensione areale del fenomeno franoso permette di discriminare le superfici che sono o sono state soggette a franamenti, al di là della distribuzione dell'attività, (retrogressiva, in estensione laterale, ecc.), del fenomeno stesso, fornendo così una sintetica informazione sull'ampiezza superficiale del territorio coinvolto.

Lo stato di attività è inteso, nel lavoro, secondo quanto proposto nella *Guida alla compilazione delle schede frane IFFI* (Allegato 1) dal Servizio Geologico (Dipartimento per i servizi tecnici nazionali) con una terminologia il più possibile vicina a quella proposta da CRUDEN e VARNES nel 1996, [1].

Attraverso tale terminologia è fornita un'indicazione temporale sulla storia dell'attività del fenomeno franoso rispetto ai fattori morfoclimatici predisponenti, distinguendo i fenomeni nel seguente modo:

- *attivi* se attualmente in movimento o se risulta alta la frequenza temporale di accadimento del fenomeno nell'area in oggetto;
- *riattivati* se il fenomeno risulta nuovamente attivo dopo un periodo di inattività;
- *sospesi* se al momento della catalogazione non vi è movimento ma vi è stata attività durante l'ultimo ciclo stagionale;
- *inattivi* se in questo stesso arco di tempo non vi è stata alcuna attività.

I fenomeni rientranti in quest'ultimo stato di attività sono ulteriormente differenziati in:

- *quiescenti* se si ritiene possibile una loro riattivazione;

of the various manifestations of the phenomenon at the national scale.

In this study the factors taken into account are derived from the inventory maps and are essentially: numerical and geographical distribution of the phenomenon on regional and provincial territories, the extent of the areas affected and the activity status of the landslides.

These elements allow obtaining synthetically, valuable information on the existing landslide phenomenology in the territory.

Moreover, they are consistent with the classification of these phenomena normally used (CRUDEN and VARNES, 1996 [1]) and with the national-level data collection policies (Italian Landslides Inventory Phenomena, IFFI Project, 2007 [2]).

For example, the range extension of landslides allows discriminating between surfaces that are or have been subject to landslides, besides the distribution of activities, (retrogressive, in lateral extension, etc.), of the same phenomenon, thus providing concise information on the surface extent of the territory involved.

In the paper, the activity status is intended as proposed in the Guide to the compilation of the IFFI landslides cards (Annex 1) from the Geological Service (National Technical Services Department) with a terminology as close as possible to the one proposed by CRUDEN and VARNES, in 1996, [1].

A time indication on the history of landslide activities is given through such terminology compared to predisposing morpho-climatic factors, distinguishing the phenomena as follows:

- *active if currently moving or if the temporal frequency of occurrence of the phenomenon in the area concerned turns out to be high;*
- *reactivated if the phenomenon is active again after a period of inactivity;*
- *interrupted if at the time of cataloguing there is no movement but there was activity during the last seasonal cycle;*
- *inactive if there has been no activity in this same period.*

The phenomena that fall in the latter activity status are further differentiated by:

- *quiescent if their reactivation is deemed to be possible;*
- *relict if formed in climatic or geomorphological conditions attributable to past eras;*
- *naturally or artificially stabilised if their reactivation is deemed impossible since the originating triggering causes are no longer present or have been carried out stabilization operations.*

The information selected this way allows obtaining, to a first approximation, indications on the propensity of large

SCIENZA E TECNICA

- *relitti* se formati in condizioni climatiche o geomorfologiche ascrivibili ad epoche passate;
- *stabilizzati naturalmente o artificialmente* se si ritiene impossibile una loro riattivazione in quanto le cause scatenanti originarie non sono più presenti o sono stati eseguiti interventi di stabilizzazione.

Le informazioni così selezionate consentono, in prima approssimazione, di ottenere indicazioni sulla propensione di vaste aree a franare, in accordo con il principio dell'attualismo inverso, per cui il passato ed il presente sono la chiave per il futuro (VARNES et al., 1984 [3]; CARRARA et al., 1991 [4]). Di fatto si assume che le frane nel futuro possano avvenire con maggiore probabilità per le stesse condizioni che le hanno prodotte nel passato.

2.1.3. Monitoraggi territoriali

a) Descrizione del fenomeno franoso, aspetti normativi

I fenomeni franosi sono affrontati come una delle dirette conseguenze del dissesto idrogeologico del territorio nazionale, intendendo con dissesto idrogeologico la *condizione che caratterizza aree dove processi naturali o antropici, relativi alla dinamica dei corpi idrici, del suolo o dei versanti, determina condizioni di rischio sul territorio* (D.Lgs 152 del 3/04/06, *Norme in materia ambientale*, aggiornato il 27/03/14, Parte III, Art. 54).

A livello nazionale tale fenomeno è stato affrontato con la ripartizione del territorio in Bacini Idrografici (di rilievo nazionale, interregionale e regionale) e l'istituzione delle Autorità di Bacino come strutture di coordinamento sul territorio delle funzioni statali, regionali e provinciali in materia di Difesa del suolo e delle acque (Legge 183 del 1989, *Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*).

Tali strutture territoriali dovevano, attraverso la redazione dei Piani di Bacino, *pianificare e programmare azione atte ad individuare le situazioni a rischio idrogeologico, geologico e sismico, nonché predisporre piani straordinari per rimuovere le situazioni a rischio più elevato* (Legge 183 del 1989).

I Piani di Bacino contengono *l'individuazione e la quantificazione delle situazioni, in atto e potenziali, di degrado del sistema fisico, nonché delle relative cause* (Legge 183 del 1989) e costituiscono strumenti di pianificazione territoriale ponendo anche vincoli all'uso del territorio.

È stata, inoltre, predisposta, presso le Regioni ed i Servizi Tecnici Nazionali, la raccolta dei dati, relativi alle fenomenologie che comportano rischi o hanno determinato danni sul territorio, in possesso di tutti gli enti territoriali, che rispetto alle loro specifiche competenze, hanno archiviato tali informazioni (Legge 183 del 1989).

Al sistema dei Servizi Tecnici Nazionali è stato, inoltre, affidato il compito di stabilire i criteri e le metodologie da utilizzare per sviluppare le attività conoscitive sul territorio necessarie a valutare i fenomeni di dissesto idrogeologico in atto.

Lo scopo era quello di creare una catalogazione omo-

areas to collapse, according to the principle of reverse actualism, whereby the past and the present are the key to the future (VARNES et al., 1984 [3]; CARRARA et al., 1991 [4]). *In fact it is assumed that landslides in the future can take place most likely for the same conditions that produced them in the past.*

2.1.3. Territorial monitoring

a) Description of landslides, regulatory issues

Landslide phenomena are addressed as one of the direct consequences of hydrogeological instability throughout the national territory, meaning by hydrogeological instability the condition that characterises areas where natural or anthropogenic processes, related to the dynamics of water bodies, soil or slopes, determines risk conditions on the territory (Legislative Decree 152 of 3/04/06, *Environmental regulations*, updated on 27/03/14, Part III Art. 54).

At national level this phenomenon was addressed with the division of the territory into Hydrographical Catchments (of national, interregional and regional importance) and the establishment of Basin Authorities as coordination structures of state, regional and provincial functions in the territory relating to the Defence of soil and water (Law 183 of 1989, *Standards for organisational and functional restructuring of soil protection*).

These local structures were to plan and schedule actions, through the preparation of Catchment Plans, aimed at identifying hydrological, geological and seismic risk situations and arrange extraordinary plans to remove higher-risk situations (Law 183 of 1989).

Catchment Plans contain the identification and quantification of on-going and potential degradation situations of the physical system and its causes (Law 183 of 1989) *and constitute territorial planning tools also placing restrictions on the use of the land.*

Data collection was also prepared, at the Regions and National Technical Services, relating to phenomenologies involving risks or that have caused damage in the territory, held by all the local authorities, which compared to their specific competences, have filed such information (Law 183 of 1989).

The National Technical Services system was also tasked to establish criteria and methods to be used to develop the cognitive activity in the territory required to assess the hydrogeological instability phenomena in place.

The aim was to create homogeneous data cataloguing and a unique information system across the country to link regional and autonomous provinces information systems to (Presidential Decree 85, 24 1 1991, *Regulations concerning the reorganisation and enhancement of the geological, hydrographical and mareographical, seismic and dams national technical services, under the Presidency of the Council of Ministers, pursuant to article 9 of law of May 18, 1989, n° 183*).

SCIENZA E TECNICA

genea dei dati ed un sistema informativo unico per tutto il territorio nazionale a cui raccordare i sistemi informativi regionali e delle province autonome (D.P.R. 85, 24 1 1991, *Regolamento concernente la riorganizzazione ed il potenziamento dei servizi tecnici nazionali geologico, idrografico e mareografico, sismico e dighe nell'ambito della presidenza del consiglio dei ministri*, ai sensi dell'art.9 della legge 18 maggio 1989, n. 183).

I criteri per la redazione dei piani prevedevano che questi si articolassero in tre fasi relative allo stato delle conoscenze, all'individuazione degli squilibri su due orizzonti, contemporaneo all'emissione del Decreto ed al 2020, ed alle azioni propositive (D.P.R. del 18 7 1995, *Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei piani di bacino*).

A causa dei ritardi nella redazione ed adozione dei piani di bacino e di ulteriori eventi catastrofici che hanno colpito il territorio nazionale, sono stati introdotti i Piani Stralcio di Bacino per la tutela dal rischio idrogeologico e per stabilire misure di prevenzione per le aree a rischio: i cosiddetti Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (D.L. 180 del 11 6 1998, *Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania*, convertito in Legge 267 del 3 8 1998).

Nel 2006, lo Stato Italiano, recepisce la Direttiva Europea 2000/60/CE ed emana il D.lgs. 152, Testo Unico sull'Ambiente, che abroga la L.183 ed istituisce i Distretti Idrografici.

Le Autorità di Distretto, che sostituiscono le Autorità di Bacino, gestiscono più Bacini idrografici limitrofi e nel caso di bacini idrografici che si estendono sul territorio di due o più stati membri dell'U.E. è prevista l'istituzione di Distretti idrografici internazionali.

Le attività perseguite dalle Autorità di Bacino sono, così, attualmente demandate alle Autorità di bacino di rilievo nazionale, in attesa dell'istituzione dei Distretti idrografici (D.L. 208 del 30 dicembre 2008, convertito con modifiche in Legge 13 del 27 febbraio 2009 e D.L. 219 del 10 dicembre 2010).

L'esame della normativa evidenzia una crescente attenzione al fenomeno che per la sua complessità richiede interventi onerosi per ottenere una descrizione esaustiva ed utile per la sua conoscenza ed il suo controllo.

b) Catalogazione e sistemi di raccolta dati

Nell'ambito dell'evoluzione normativa sulla difesa del territorio dal rischio idrogeologico sono stati sviluppati progetti nazionali di ricerca, catalogazione e monitoraggio dei fenomeni franosi presenti sul territorio, tra cui:

- Programma Speciale S.C.A.I. - Studio Centri Abitati Instabili Italiani; poi confluito nel progetto C.I.V.I.C., rivolto all'analisi delle situazioni di instabilità dei centri abitati e lungo le vie di comunicazione;
- Progetto A.V.I. - Aree Vulnerate Italiane; per la realizzazione di un archivio storico (dal 1918 al 1994) delle aree del paese colpite da frane e da inondazioni;

The criteria for drawing up the plans foresaw that they were to be articulated in three stages related to the status of knowledge, the identification of imbalances on two horizons, contemporary to the issue of the Decree and to 2020, and to proactive actions (Presidential Decree of the 18 7 1995, Approval of the guidelines and coordination act concerning the criteria for drafting of the catchment plans).

Because of delays in the drafting and adoption of the catchments plans and of further catastrophic events that have befallen the country, Catchment Draft Plans were introduced to protect from hydrogeological instability risk and to establish preventive measures for the areas at risk: the so-called Draft Plans for the Hydrogeological Structure (Legislative Decree 180 of 11 6 1998, Urgent measures for the prevention of hydrogeological risk and in favour of areas affected by landslide disasters in the Campania region, passed into Law 267 of 3 8 1998).

In 2006, the Italian Government transposes European Directive 2000/60/EC and issues Legislative Decree 152, Consolidation Act on the Environment, repealing Law 183 and establishing Hydrographical Districts.

The District Authorities, which replace the Catchment Authorities, manage multiple neighbouring hydrographical Catchments and in the case of hydrographical catchments that extend over the territory of two or more EU Member States the establishment of international hydrographical Districts are planned.

The activities pursued by the Catchment Authorities are thus currently entrusted to the national Catchment Authorities, pending the establishment of hydrographical Districts (Legislative Decree 208 of December 30, 2008, converted with amendments into Law 13 of February 27, 2009 and Legislative Decree 219 of December 10, 2010).

The examination of the legislation highlights growing attention to the phenomenon that due to its complexity requires costly interventions to obtain a comprehensive description also useful for the knowledge and control thereof.

b) Cataloguing and data collection systems

In the context of changes in legislation on the protection of the territory from hydrogeological risk, national research projects, cataloguing and landslides monitoring in the area have been developed, including:

- *Special S.C.A.I. Programme - Italian Unstable Residential Areas Study; later merged into the C.I.V.I.C. project, aimed at the analysis of situations of instability of residential areas and along communication roads;*
- *A.V.I. Project - Italian Harmed Areas; for the creation of a historical archive (from 1918 to 1994) of areas of the country affected by landslides and floods;*
- *I.L.I.P. Project - Inventory of Italian Landslides; for historical archive data collection, as well as identification from scratch, mapping and computerisation of data on identified landslide phenomena.*

SCIENZA E TECNICA

- Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani; per la raccolta dei dati storici e d'archivio, nonché l'individuazione ex-novo, la mappatura e l'informatizzazione dei dati sui fenomeni franosi individuati.

c) Gestione e monitoraggio

Le attività di previsione, prevenzione e soccorso in caso di eventi naturali o calamità naturali o eventi calamitosi connessi all'attività dell'uomo, sono demandate al Servizio Nazionale di Protezione Civile (Dipartimento Nazionale di Protezione Civile [5]).

Ogni Centro funzionale raccoglie e condivide con gli altri Centri funzionali, i dati e le informazioni provenienti da una fitta rete di sensori disposti sul territorio nazionale:

- rete meteo-idro-pluviometrica, costituita da circa 4500 stazioni di sensori in telemisura, tra cui pluviometri, idrometri, termometri, anemometri e nivometri. Tali stazioni trasmettono i dati registrati con un tempo di latenza generalmente di trenta minuti;
- rete radar nazionale, composta da ventiquattro radar meteorologici in grado di stimare la presenza e l'intensità delle precipitazioni nell'atmosfera ed osservare lo spostamento delle perturbazioni.

Essendo tali informazioni il risultato di un processo complesso di stime soggette ad incertezza è da ritenersi necessario l'ausilio delle informazioni registrate da più radar e l'interpolazione di questi dati con quelli delle altre reti disponibili;

- rete delle piattaforme satellitari disponibili per l'osservazione della terra;
- dati territoriali idrologici, geologici, geomorfologici e quelli derivanti dal sistema di monitoraggio delle frane.

Sulla base di queste informazioni, il Centro Funzionale Centrale elabora previsioni meteo a fini di protezione civile, segnalando ai Centri funzionali decentrati possibili fenomeni meteorologici previsti o in atto che potrebbero comportare effetti al suolo tali da creare situazioni di emergenza sul territorio.

Si tratta per tanto di un monitoraggio costante, continuo e dettagliato finalizzato al controllo istantaneo dei fenomeni e alla valutazione delle potenziali conseguenze sulle attività antropiche (abitazioni, reti di trasporto, ecc.). I dati acquisiti potrebbero costituire un prezioso sistema informativo per lo studio dei dissesti e della loro evoluzione.

3. Distribuzione dei fenomeni franosi nel territorio nazionale

3.1. Banca dati di riferimento

L'evoluzione normativa, le attività di monitoraggio, la produzione di cartografie tematiche, descritte al punto 2, dimostrano la crescente importanza del fenomeno e la promozione di attività che coinvolgono significative risorse umane e materiali per produrre una notevole quan-

c) Management and monitoring

Forecasting, prevention and relief in the event of natural disasters or natural calamities or disasters linked to human activities, are delegated to the National Civil Protection Service (National Civil Protection Department [5]).

Each functional Centre collects and shares data and information from a crowded network of sensors arranged throughout the national territory with other functional centres:

- *weather-hydro-pluviometrical network, consisting of approximately 4500 telemetry sensor stations, including rain gauges, hydrometers, thermometers, anemometers, and snow gauges. These stations transmit the recorded data generally with a thirty-minute lag time;*
- *national radar network, consisting of twenty-four meteorological radars capable of estimating the presence and intensity of rainfall in the atmosphere and of observing the movement of low-pressure areas.*

Since this information is the result of a complex process of estimates subject to uncertainty, the help of information recorded by multiple radars and interpolation of these data with those of other available networks is considered necessary:

- *network of satellite platforms available for Earth observation;*
- *territorial hydrological, geological, geomorphological data and those resulting from the landslide monitoring system.*

Based on this information, the Central Functional Centre prepares weather forecasts for civil protection purposes, reporting possible expected or in place meteorological phenomena to functional decentralised Centres that may result in ground effects such as to create emergency situations on the territory.

It therefore involves constant, continuous and detailed monitoring aimed at instant control of the phenomena and assessment of the potential consequences on human activities (housing, transport networks, etc.). The acquired data therefore could constitute a valuable information system for study of landslides and their evolution.

3. Distribution of landslides in the country

3.1. Reference database

Changes in legislation, monitoring activities, the production of thematic maps, described in paragraph 2, show the growing importance of the phenomenon and the promotion of activities involving significant human and material resources to produce a significant amount of information at different levels of detail aimed at specific objectives (macroscopic representation, analysis of individual phenomena, etc.).

The data used in the study have been obtained as follows.

SCIENZA E TECNICA

tà di informazioni a diversi livelli di dettaglio finalizzate a obiettivi specifici (rappresentazioni macroscopiche, analisi di singoli fenomeni, ecc.).

I dati utilizzati per lo studio sono stati ricavati nel modo di seguito descritto.

a) Fenomeni franosi:

I dati analizzati relativamente ai fenomeni franosi, sono stati estrapolati dal Rapporto sulle frane in Italia del 2007 [2], presentato come primo rapporto del succitato progetto IFFI.

L'inventario ha lo scopo di fornire un'immagine della distribuzione dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale censiti fino al 2006, offrendo uno strumento conoscitivo per una prima valutazione della suscettibilità del territorio a franare.

Il catalogo contiene anche informazioni relative ai danni subiti dalla rete infrastrutturale a seguito di eventi franosi.

I rapporti e la relativa cartografia sono elaborati seguendo metodiche di lavoro standard, in modo da ottenere dati confrontabili su tutto il territorio.

I fenomeni censiti sono il frutto di ricerche realizzate dalle Regioni e dalle Province Autonome nei propri archivi ed in quelli degli enti territoriali che nel corso degli anni, per loro competenza amministrativa, hanno raccolto informazioni su fenomeni franosi presenti sul territorio.

A questi dati sono stati aggiunti quelli contenuti nell'Archivio del progetto AVI e nell'Archivio del Progetto SCAI.

Sono stati, inoltre, considerati i fenomeni censiti dalle Autorità di Bacino o individuati durante la redazione della nuova cartografia geologica e geotematica alla scala 1:50000, nell'ambito del Progetto CARG (CARTografia Geologica).

L'individuazione dei fenomeni su carta è avvenuta principalmente attraverso l'ausilio della fotointerpretazione e solo per i fenomeni più importanti sono stati previsti sopralluoghi specifici.

Di conseguenza, i fenomeni individuati da foto aeree sono relativi alla data di produzione delle immagini stesse. In Italia sono state eseguite varie campagne di voli per la produzioni di immagini aeree del territorio tra gli anni '50 ed il 2000.

Tra i voli si registrano ampi intervalli di tempo e rilievi di limitate porzioni del territorio nazionale.

Inoltre, il numero di frane individuato è inevitabilmente legato alla qualità delle immagini ed alla sensibilità del tecnico incaricato all'interpretazione stereografica delle immagini stesse.

Ciò nonostante, per il principio dell'attualismo inverso [3]-[4], queste informazioni forniscono, in prima approssimazione, indicazioni sulle aree del territorio suscettibili a franare.

a) Landslides:

The data analysed in relation to landslides, were extracted from the 2007 Report on landslides in Italy [2], which was presented as first report of the aforementioned IFFI project.

The inventory intends providing a picture of the distribution of landslides surveyed until 2006 nationwide, offering a cognitive tool for an initial evaluation of the susceptibility of the territory to collapse.

The catalogue also contains information about damages to the infrastructure network as a result of landslides.

Reports and related working methods are processed following standard work procedures, in order to obtain comparable data throughout the country.

The phenomena studied are the result of research carried out by the Regions and Autonomous Provinces in their archives and those of the local authorities that have collected information on landslides in the area over the years, for their administrative competence.

The data contained in the AVI project Archive and the SCAI project archive were added to these.

The phenomena studied by the Catchment Authorities or identified during the drafting of the new 1:50000 scale geological and geothematic map, as part of the CARG project (CARTografia Geologica) were also considered.

The identification of phenomena on paper took place primarily through the use of photo-interpretation and specific inspections were planned only for the most important phenomena.

As a result, the phenomena discovered by aerial photos relate to the creation date of the same images. Various flight campaigns were carried out in Italy between the '50s and the year 2000 for the creation of aerial pictures of the territory.

Extended time intervals and limited observations of the national territory are recorded between flights.

In addition, the number of landslides identified is inevitably linked to the quality of the images and to the sensitivity of the technician responsible for the interpretation of the same stereographic images.

Nonetheless, for the principle of reverse actualism [3-4], as a first approximation, these data provides information on land areas susceptible to collapse.

Any landslide so listed is identified through a code called "Identification Point of landslides", PIFF. The phenomena are represented in cartography using a 1:25000 scale, chosen as reference map basis.

Given the selected scale, as a rule, only phenomena that are larger or equal to a hectare, therefore readily identifiable, are mapped through geometric shapes, while the remaining smaller phenomena are only mapped with a point situated at the highest point of the crown in cartography, that is to say the top margin of the main slope left in place, on which the landslide developed.

Landslides smaller than a hectare that as a result of specific characteristics were considered particularly significant

SCIENZA E TECNICA

Ogni fenomeno franoso così censito è identificato attraverso un codice denominato “Punto identificativo del fenomeno franoso”, PIFF. I fenomeni sono rappresentati in cartografia alla scala 1:25000, scala scelta come base cartografica di riferimento.

Vista la scala prescelta, per convenzione, sono cartografati attraverso forme geometriche solo i fenomeni con dimensioni superiori o uguali all'ettaro, quindi ben identificabili, mentre i restanti fenomeni di dimensioni inferiori sono cartografati unicamente con un punto ubicato in cartografia alla quota più alta del coronamento, ossia del margine superiore rimasto in posto della scarpata principale, su cui si è sviluppato il fenomeno franoso.

I fenomeni franosi di dimensione inferiore all'ettaro che per specifiche caratteristiche sono stati ritenuti dalle Regioni particolarmente significativi, sono ugualmente cartografati con una forma geometrica laddove sia disponibile una base topografica di maggior dettaglio.

I fenomeni estesi su interi settori di versante sono classificati come *Aree interessate da fenomenologia diffusa* ed individuati con un unico punto identificativo o laddove sia stato possibile distinguere i diversi coronamenti di frana, da diversi punti identificativi distinti da sub-indici ma che comunque fanno tutti riferimento alla stessa area.

b) Dati territoriali e infrastrutturali:

I dati territoriali, (estensione regionale e provinciale, ecc.) sono stati estrapolati, per omogeneità, dalle pubblicazioni esaminate [2], mentre i dati relativi all'estensione della rete ferroviaria italiana sono stati estrapolati dalle informazioni presenti sul sito internet pubblico delle Ferrovie dello Stato.

3.2. Analisi quantitativa

La superficie del territorio italiano è per più della metà composta da aree montano collinari, (circa il 67%). In tutte le Regioni, la superficie montano collinare è uguale o superiore al 40% della superficie regionale.

Le frane essendo fenomeni gravitativi sono tipiche delle suddette aree e, quindi, è facile affermare che il problema dei dissesti franosi coinvolge potenzialmente tutte le Regioni con la stessa incidenza.

Il fenomeno è ancora più evidente se si analizza la fig. 1 in cui sono posti in correlazione due indici sintetici di franosità territoriale. Per indice di franosità s'intende il rapporto tra le aree in frana e la superficie regionali;

by the Regions are equally mapped with a geometric shape where there is a more detailed topographic basis.

Phenomena stretching over entire sections of the slope are classified as Areas affected by widespread phenomenology and identified with a single identification point or where it was possible to distinguish different landslide crowns, by different identification points distinguished by sub-indices but that however all refer to the same area.

b) Territorial and infrastructural data:

Territorial data, (regional and provincial extension, etc.) were extracted, for uniformity, from the publications examined [2], while data concerning the extension of the Italian railway network were extracted from the information on the State Railways public website.

3.2. Quantitative analysis

More than half of the Italian territory consists of hilly, mountainous areas (approximately 67%). In all Regions, the mountain and hilly area reaches or exceeds the regional area by 40%.

As landslides are gravitational phenomena they are typical of such areas and, therefore, it is easy to say that the problem of landslides potentially involves all Regions with the same incidence.

The phenomenon is even more evident if fig. 1 is analysed where two synthetic indexes of territorial landslides are interrelated. The meaning of landslide index is the

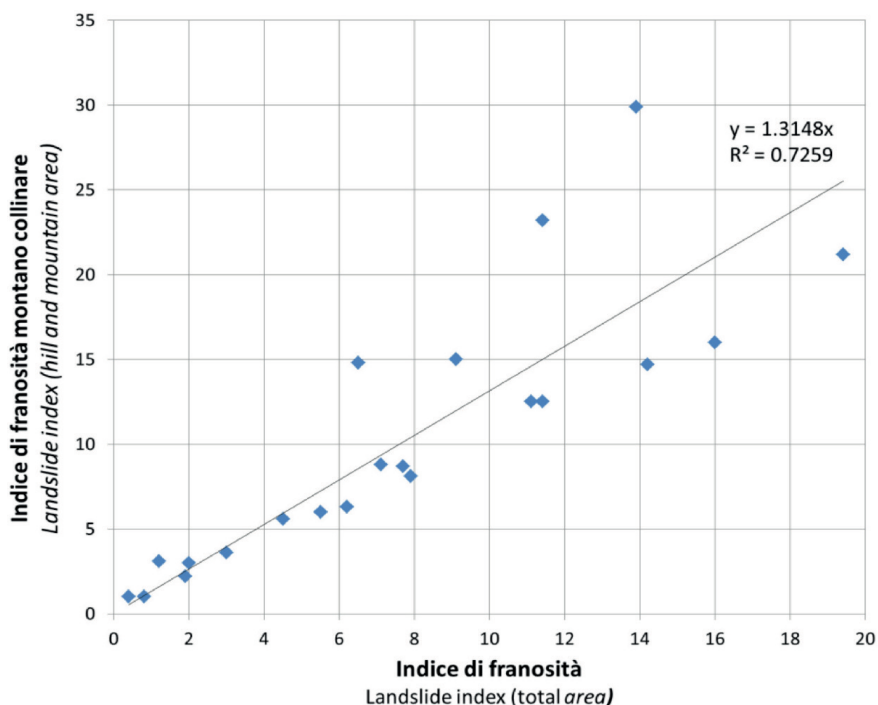


Fig. 1 - Rapporto tra indice di franosità montano-collinare ed indice di franosità calcolato sull'intera superficie regionale, dati IFFI 2007.

Fig. 1 - Ratio between the mountainous-hilly landslides index and the landslide index calculated over the entire regional surface, IFFI data 2007.

SCIENZA E TECNICA

per indice di franosità montano collinare s'intende il rapporto tra le aree in frana e le superfici montano collinari della Regione. Si può notare, per la maggior parte dei dati (fig. 1), la buona correlazione dei due indici.

Ai fini della valutazione del rischio si può ritenere che la propensione a franare di un'area sia intrinsecamente legata allo stato di attività dei fenomeni franosi ivi presenti.

I fenomeni franosi censiti come attivi, sospesi o riattivati rappresentano circa il 60% dei fenomeni franosi censiti di cui si è potuto determinare lo stato di attività (fig. 2) ed il dato è abbastanza omogeneo su scala nazionale.

Inoltre, il numero di fenomeni franosi totali censiti assume un valore rilevante corrispondente mediamente a circa 20000 per Regione, a dimostrazione dell'elevata diffusione del fenomeno.

Un indicatore di pericolosità regionale può essere dato dalla densità regionale dei fenomeni franosi al 2007, ossia dal rapporto tra il numero dei fenomeni censiti al 2007 e l'estensione della superficie regionale (fig. 3).

Per ogni unità di superficie regionale (km²) si può ipotizzare mediamente la presenza di circa 1.5 fenomeni franosi; nel grafico sono riportate le Regioni che presentano una densità elevata, in genere superiore alla media.

La densità regionale dei fenomeni franosi, tuttavia, evidenzia la numerosità media dei fenomeni rispetto alla superficie regionale ma non la loro dimensione.

L'estensione complessiva del fenomeno può essere, invece, rappresentata dall'indice di franosità, rapporto tra le superfici interessate da fenomeni franosi e la superficie totale regionale (fig. 4).

In fig. 4 si possono distinguere le Regioni con una percentuale compresa tra il 10% ed il 20% di territorio regionale in frana e quindi maggiormente coinvolte dal fenomeno (circa il 30% delle Regioni).

La linea di tendenza evidenzia che il valore medio del rapporto si attesta intorno al 6%.

Quest'ultimo valore permette di effettuare una prima discriminazione tra le regioni rispetto alla dimensione del fenomeno: oltre la metà delle regioni superano questa soglia.

Le dimensioni medie dei fenomeni franosi possono ricavarsi dalla fig. 5, in cui sono messe in relazione il numero totale dei fenomeni censiti e le aree da essi interessate.

Si evince che per ogni unità di superficie (km²) interessata da frane vi sono mediamente 26 fenomeni franosi e che ogni frana ha mediamente

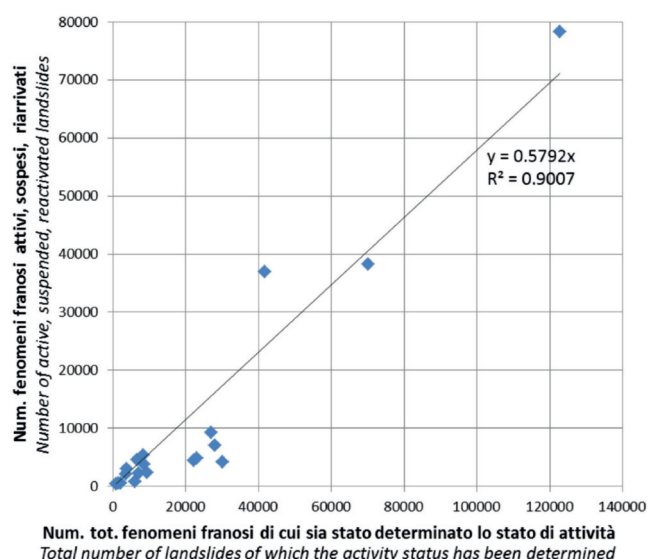


Fig. 2 - Rapporto, a livello regionale, tra il numero di fenomeni attivi, sospesi o riattivati ed il numero di fenomeni di cui è stato determinato lo stato di attività (per le Regioni dove sono disponibili i dati), dati IFFI 2007.

Fig. 2 - At regional level, the ratio between the number of active, suspended or reactivated phenomena and the phenomena whose activity status was determined (for Regions where data is available), IFFI data 2007.

ratio of the landslide areas and the regional areas; the meaning of hilly-mountainous landslide index is the ratio between the landslide areas and the hilly-mountainous areas of the Region. One can observe, for most of the data (fig. 1), good correlation of the two indices.

For the purposes of risk assessment one can consider that the propensity to collapse of one area is intrinsically linked to the activities status of landslides therein.

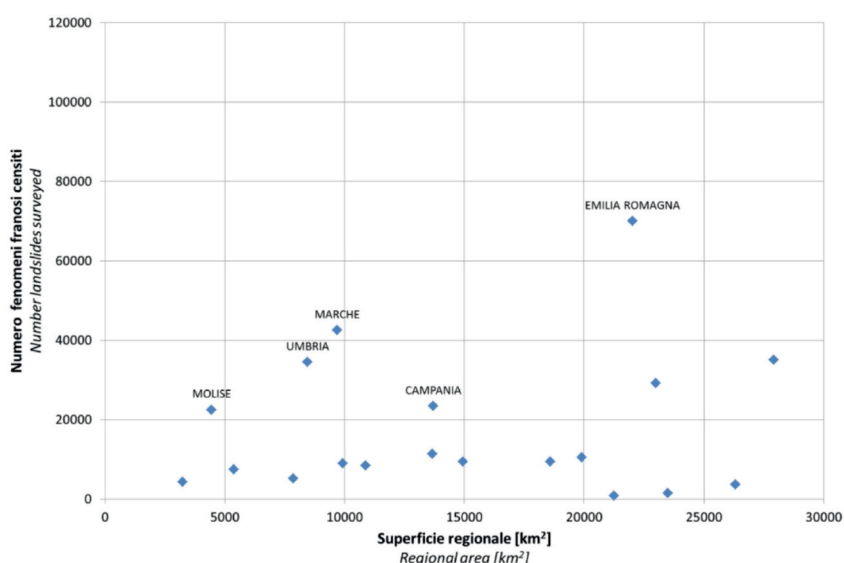


Fig. 3 - Densità regionale dei fenomeni franosi al 2007 (dati IFFI 2007).

Fig. 3 - Regional density of landslides in 2007 (IFFI data 2007).

SCIENZA E TECNICA

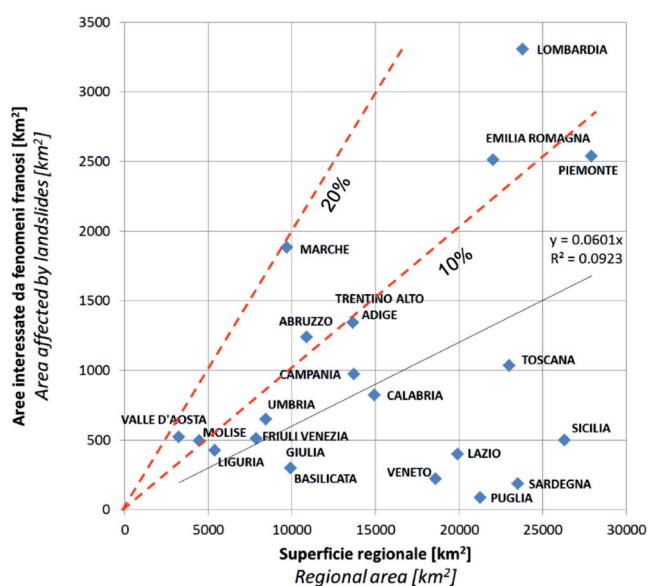


Fig. 4 - Indice di franosità regionale, dati IFFI 2007.

Fig. 4 - Regional landslide index, IFFI data 2007.

una superficie di circa 0.038 km² (equivalente ad un quadrato con un lato di circa 196 metri).

L'indice di franosità, la densità regionale e la densità superficiale dei fenomeni franosi possono fornire preliminari indicazioni sulla dimensione del fenomeno a livello regionale (tabella 1).

Per le Regioni Marche, Umbria, Molise, Lombardia, Campania ed Emilia Romagna si riscontrano valori dell'indice di franosità superiori alla media associati ai valori più elevati della densità regionale del fenomeno nonché valori superiori alla media della densità superficiale del fenomeno franoso.

Al fine di redigere una graduatoria di criticità nazionale e di individuare le zone in cui approfondire lo studio mediante un'analisi di rischio da frana è opportuno estendere tali indicatori ad un livello più dettagliato, come per province e comuni.

Si riporta, a titolo esemplificativo, la rappresentazione dei suddetti indici per le province della Regione Emilia Romagna (figg. 6, 7 e 8).

Dai grafici si evince che le Province emiliane presentano mediamente un indice di franosità intorno al 13%, valore superato unicamente dalle province di Piacenza e Parma, con valori rispettivamente del 17% e 20%.

Landslides surveyed as active, suspended or reactivated account for approximately 60% of landslides surveyed of which it was possible to determine the activity status (fig. 2) and this figure is fairly homogeneous on a national scale.

In addition, the number of total recorded landslides assumes a considerable value corresponding to an average of about 20000 per Region, demonstrating the pervasiveness of the phenomenon.

A regional hazard indicator can be given by the regional density of landslides in 2007, that is to say the ratio of the number of phenomena recorded in 2007 and the extension of regional area (fig. 3).

For each unit of regional area (km²) the existence of on average 1.5 landslides can be assumed; the graph shows the Regions with high density, generally above average.

The regional density of landslides, however, highlights the average number of phenomena compared to the regional area but not their size.

The total extension of the phenomenon can instead be represented by the landslide index, the ratio between the areas affected by landslides and the total regional area (fig. 4).

Fig. 4 distinguishes the Regions at a rate ranging between 10% and 20% of the regional land sliding territory and thus more affected by the phenomenon (about 30% of the Regions).

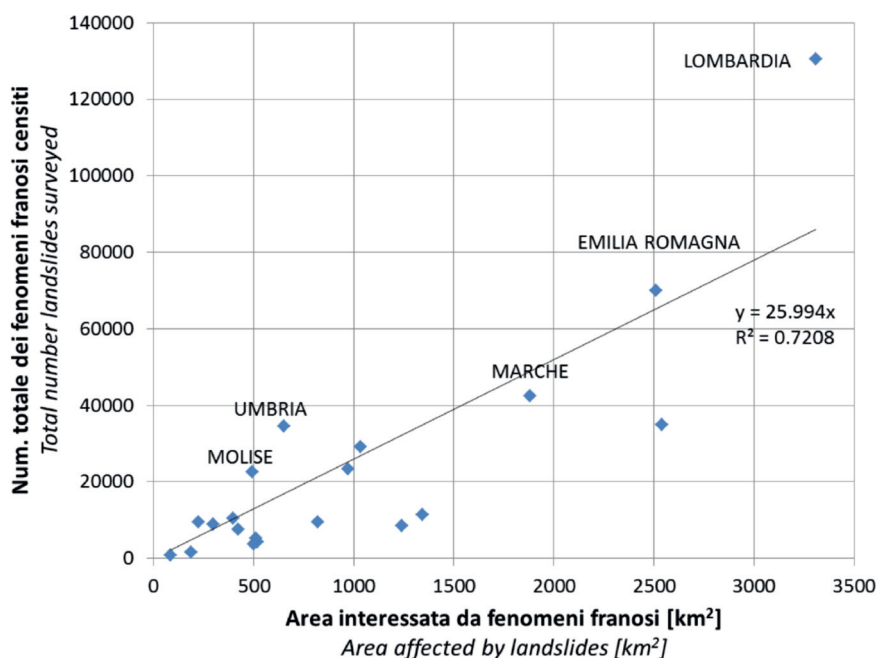


Fig. 5 - Numerosità dei fenomeni censiti e estensione delle aree interessate da cui può ricavarsi la densità superficiale dei fenomeni franosi, (dati IFFI 2007).

Fig. 5 - Number of recorded phenomena and extension of the areas affected where the surface density of landslides can be derived, (IFFI data 2007).

SCIENZA E TECNICA

Nella Provincia di Piacenza si registra mediamente la presenza di 2.2 frane per km², con densità superficiale di circa 0.075 km².

Ugualmente per la Provincia di Parma si ottengono valori di densità regionale del fenomeno franoso intorno a 5 frane per km², con densità superficiale di circa 0.038 km².

3.3. Interazione frane e trasporti

3.3.1. Infrastrutturazione ferroviaria regionale

Un quadro generale dell'infrastrutturazione ferroviaria regionale italiana è rappresentato dal grafico di fig. 9, da cui si evince la relazione tra la lunghezza complessiva dei binari ferroviari e l'estensione superficiale regionale.

The trend line shows that the average value of the ratio is around 6%.

The latter value allows making an initial discrimination between regions with respect to the magnitude of the phenomenon: more than half of the regions exceed this threshold.

The average magnitude of landslides can be obtained from fig. 5, where the total number of recorded phenomena and the areas affected by them are put in relation.

It follows that for each area unit (km²) affected by landslides there are on average 26 landslides and that each landslide has on average an area of about 0.038 km² (equivalent to a square with a side of approximately 196 metres).

The landslides index, regional density and the surface density of landslides can provide preliminary indications about the size of the phenomenon at regional level (table 1).

TABELLA 1 – TABLE 1

Indicatori di franosità per le Regioni italiane al 2007
Landslide indicators for the Italian Regions in 2007

Regioni e Province Autonome <i>Autonomous Regions and Provinces</i>	Indice di franosità [(superficie interessata da fenomeni franosi/ superficie regionale) x 100] <i>Landslide index [(area affected by landslides/regional area) x 100]</i>	Densità regionale dei fenomeni franosi (numero di fenomeni franosi/superficie regionale) <i>Regional density of landslides (number of landslides/regional area)</i>	Densità superficiale dei fenomeni franosi (numero dei fenomeni franosi/ superficie interessata da fenomeni franosi) <i>Surface density of landslides (number of landslides/surface affected by landslides)</i>
Marche	19.4	4.4	22.6
Valle D'Aosta	16.0	1.3	8.4
Lombardia	13.9	5.5	39.0
Emilia Romagna	11.4	3.2	27.9
Abruzzo	11.4	0.8	6.8
Molise	11.1	5.1	45.6
Trentino Alto Adige	9.8	0.8	8.5
Piemonte	9.1	1.3	13.8
Liguria	7.9	1.4	17.7
Umbria	7.7	4.1	53.1
Campania	7.1	1.7	24.1
Friuli Venezia Giulia	6.5	0.7	10.3
Calabria	5.5	0.6	11.5
Toscana	4.5	1.3	28.2
Basilicata	3.0	0.9	30.2
Lazio	2.0	0.5	26.5
Sicilia	1.9	0.1	7.3
Veneto	1.2	0.5	42.5
Sardegna	0.8	0.1	8.1
Puglia	0.4	0.04	9.9
Italia	6.6	1.6	23.5

SCIENZA E TECNICA

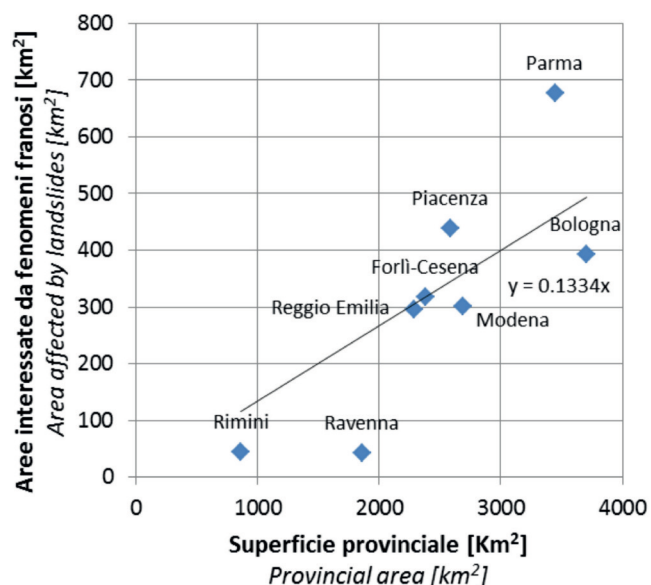


Fig. 6 - Indice di franosità, Province della Regione Emilia Romagna.

Fig. 6 - *Landslide index, Provinces of the Emilia Romagna Region.*

Mediamente in ogni Regione si hanno 0.08 km/km² di binari ferroviari, con un massimo rappresentato dalla Liguria con circa 0.15 km/km² ed un minimo rappresentato dalla Sardegna con 0.02 km/km².

3.3.2. Correlazione tra densità dei fenomeni franosi e densità della rete ferroviaria

La probabilità che a fronte di una frana questa possa interessare la rete ferroviaria è maggiore quanto maggiore è il rapporto tra la lunghezza della linea ferroviaria e la superficie regionale coinvolta da fenomeni franosi.

In prima approssimazione ed in assenza di indicazioni specifiche sulla localizzazione delle linee ferroviarie rispetto alle aree in frana, si potrebbe correlare la probabilità che una frana possa interessare la rete ferroviaria al rapporto tra l'estensione della linea ferroviaria stessa e la superficie regionale coinvolta da fenomeni franosi (fig. 10).

In altre parole, se i fenomeni franosi e la rete ferroviaria fossero uniformemente distribuiti sul territorio, il contributo al rischio, a parità di area in frana, sarebbe tanto maggiore quanto maggiore è l'estensione della rete ferroviaria.

Ad esempio la Regione Liguria presenta un rapporto tra l'estensione della rete ferroviaria in esercizio e l'estensione dei fenomeni franosi regionali pari a 1.17 km/km².

Mediamente tale valore per regione si aggira intorno ai 0.60 km/km².

Anche i recenti investimenti per mettere in sicurezza, rispetto al dissesto idrogeologico, le aree vicino ai binari, sembrerebbero coerenti con quanto evidenziato dal grafi-

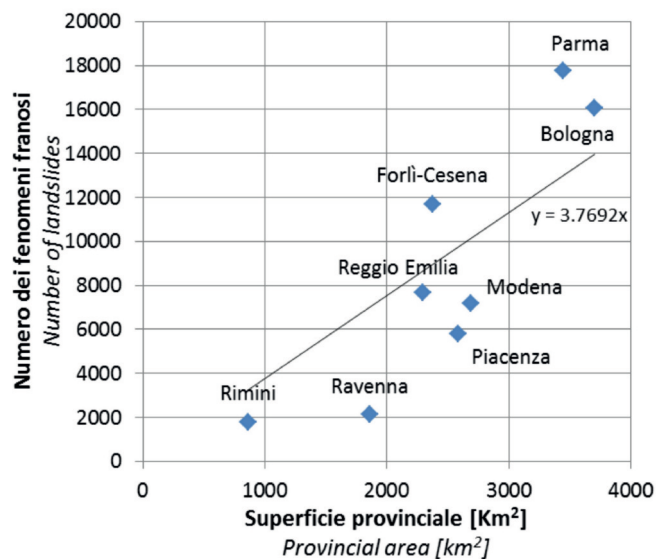


Fig. 7 - Densità regionale dei fenomeni franosi, Province della Regione Emilia Romagna.

Fig. 7 - *Regional density of landslides, Provinces of the Emilia Romagna Region.*

For the Regions Marche, Umbria, Molise, Lombardy, Campania and Emilia Romagna landslide index values are higher than average associated with higher values of the regional density of the phenomenon as well as above-average values of surface density of landslides.

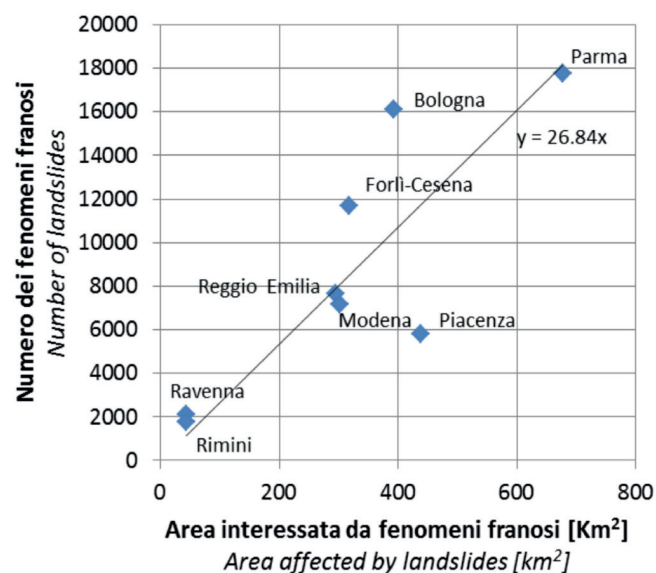


Fig. 8 - Numerosità dei fenomeni censiti e estensione delle aree interessate da cui può ricavarsi la densità superficiale dei fenomeni franosi, Province della Regione Emilia Romagna.

Fig. 8 - *Number of recorded phenomena and extension of the areas affected where the surface density of landslides can be derived, Provinces of the Emilia Romagna Region.*

SCIENZA E TECNICA

co di fig. 10 (come da Comunicato RFI del 31 marzo 2015). Infatti le Regioni maggiormente interessate (Liguria, Campania e Piemonte) hanno tutte un valore di detto rapporto superiore alla media.

4. Analisi delle conseguenze sul sistema ferroviario

4.1. Eventi incidentali

Si riportano nella tabella 2, a titolo esemplificativo, alcuni degli eventi del periodo 2014-2015 che hanno provocato ritardi alla circolazione ferroviaria o danni all'infrastruttura, ottenuti elaborando i comunicati alla clientela [6].

Dalla tabella 2 si evince che tali eventi, siano essi legati a fenomeni franosi, allagamenti, esondazioni o forte vento, si sono verificati su gran parte del territorio nazionale. Analizzando le aree interessate dai soli fenomeni franosi è possibile verificare che, a conferma della loro complessità, i contesti geologici e morfologici sono estremamente eterogenei.

Ad esempio gli eventi si sono sviluppati sia lungo costa che nelle aree più interne, su versanti sia costieri sia alpini anche in concomitanza di situazioni climatiche critiche.

In sintesi, le tipologie di eventi rilevati sono (figg. 11, 12 e 13):

- frane;
- caduta di materiale sui binari;
- trasporto di detriti sui binari;
- allagamento della sede ferroviaria per esondazione;
- erosione del rilevato su cui è appoggiato l'armamento;
- allagamento della sede ferroviaria per intense precipitazioni.

4.2. Effetti sulla circolazione ferroviaria

Le conseguenze sulla circolazione ferroviaria possono essere analizzate esaminando le interruzioni della circolazione avvenute nel recente passato. In fig. 14 è riportato ad esempio il

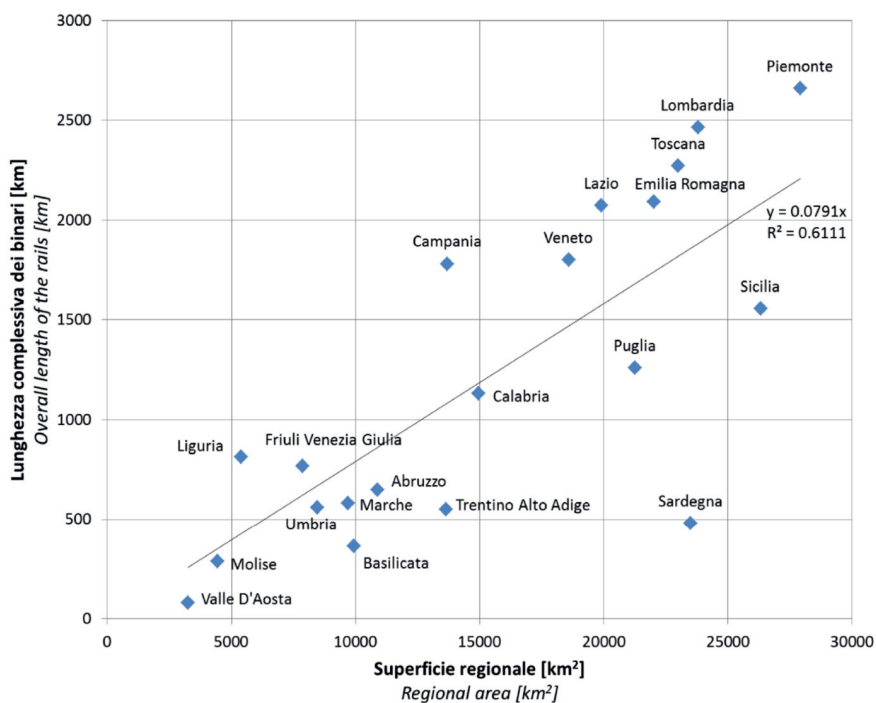


Fig. 9 - Infrastrutturazione ferroviaria regionale.
Fig. 9 - Regional railway infrastructure.

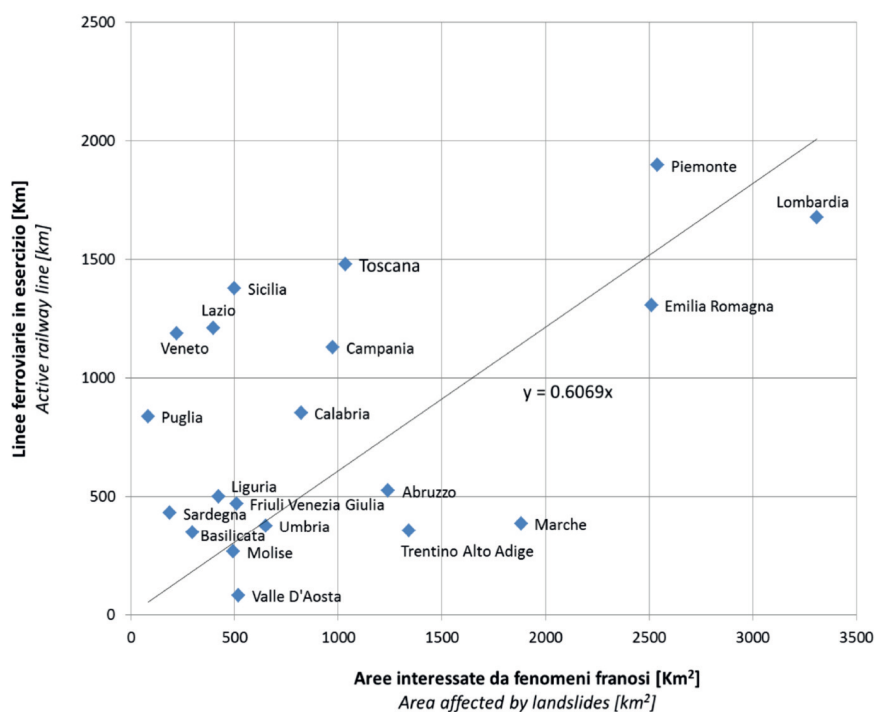


Fig. 10 - Estensione della rete ferroviaria in esercizio rispetto all'estensione dei fenomeni franosi.
Fig. 10 - Extension of the railway network in operation with respect to the extension of landslides.

SCIENZA E TECNICA

TABELLA 2 – TABLE 2

Alcuni eventi del periodo 2014-2015 che hanno provocato ritardi o danni
Some events of the period 2014-2015 which resulted in delay or damage

Regione Region	Località Locality	Evento Event	Data Date
Sicilia	Enna - Caltanissetta-Xirbi	Fango e detriti sui binari <i>Mud and debris on the tracks</i>	11/09/2014
Sicilia	Altavilla - Termini Imerese	Fango e detriti sui binari <i>Mud and debris on the tracks</i>	4/10/2014
Liguria	Borzoli - Acquasanta	Movimento franoso <i>Landslide</i>	11/10/2014
Liguria	Rossiglione	Allagamento <i>Flooding</i>	13/10/2014
Liguria	Arquata	Allagamento <i>Flooding</i>	13/10/2014
Lombardia	Pino Tronzano - Maccagno	Movimento franoso <i>Landslide</i>	13/10/2014
Emilia Romagna	Carpi - Rolo Novi Fabbrico	Caduta alberi <i>Fallen trees</i>	13/10/2014
Lombardia	Pino Tronzano - Maccagno	Allagamento <i>Flooding</i>	14/10/2014
Veneto	Belluno - Busche	Caduta alberi <i>Fallen trees</i>	22/10/2014
Veneto	Ponte nelle Alpi-Polpet - S. Croce del Lago	Caduta alberi <i>Fallen trees</i>	22/10/2014
Trentino Alto-Adige	Brunico - Valdaora	Caduta alberi <i>Fallen trees</i>	23/10/2014
Liguria	Tortona – Arquata, Novi Ligure	Esondazione	4/11/2014
Toscana	Piazza al Serchio - Aulla	Movimento franoso <i>Landslide</i>	5/11/2014
Veneto	Vittorio Veneto - Santa Croce del Lago	Detriti sui binari <i>Fallen trees</i>	5/11/2014
Lazio	Ciampino	Allagamento <i>Flooding</i>	7/11/2014
Sicilia	Messina Scalo - Rometta	Allagamento <i>Flooding</i>	7/11/2014
Liguria	Rapallo - Chiavari	Movimento franoso <i>Landslide</i>	10/11/2014
Liguria	Savona – Taggia, Loano - Albenga	Allagamento e caduta alberi <i>Flooding and fallen trees</i>	15/11/2014
Liguria	Genova - Arquata Scrivia.	Allagamento <i>Flooding</i>	15/11/2014
Liguria	Ovada – Campo Ligure	Movimento franoso <i>Landslide</i>	15/11/2014
Liguria	Genova S. Quirico - Mignanego	Movimento franoso <i>Landslide</i>	17/11/2014
Toscana	Minucciano - Gragnola	Movimento franoso <i>Landslide</i>	26/11/2014
Lazio	Santa Marinella e Santa Severa	Allagamento <i>Flooding</i>	26/11/2014
Abruzzo	Scafa - Manoppello	Pericolo di esondazione <i>Danger of overflow</i>	23/01/2015
Campania	Bojano	Caduta alberi <i>Fallen trees</i>	30/01/2015
Lazio	Pomezia - Torricola	Caduta alberi <i>Fallen trees</i>	30/01/2015
Campania	Salerno - Pontecagnano	Caduta alberi <i>Fallen trees</i>	4/02/2015

SCIENZA E TECNICA

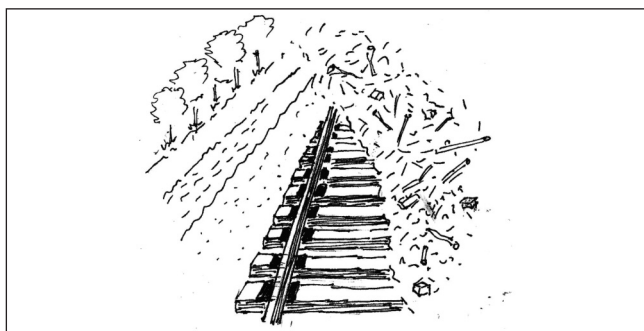


Fig. 11 - Trasporto di detriti sul binario a seguito del suo allagamento per esondazione.

Fig. 11 - Transportation of debris on the track following its flooding for overflow.

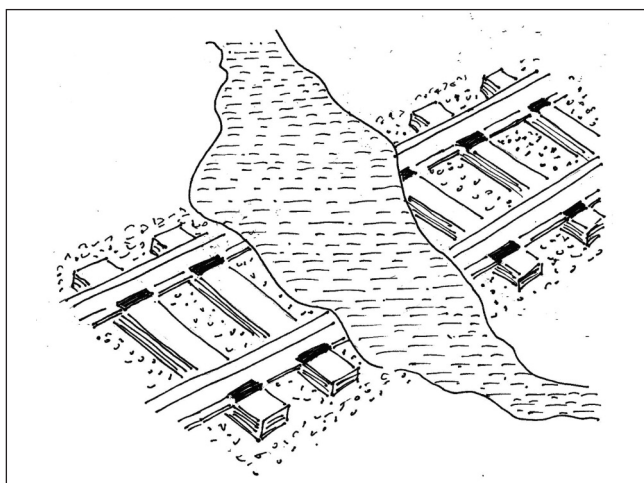


Fig. 12 - Esondazione ed allagamento della sede ferroviaria.

Fig. 12 - Overflow and flooding of the railway site.

rapporto tra il numero di treni coinvolti in eventi franosi, accaduti tra agosto 2014 e luglio 2015, e la durata, in ore, dell'interruzione del servizio desunta dai comunicati agli utenti [6].

Tra i dati disponibili sono stati esclusi quelli che hanno previsto un tempo d'interruzione della linea ferroviaria superiore alle 48 ore, più rari e presumibilmente legati a situazioni di dissesto territorialmente più ampie.

Dal grafico si evince che tali interruzioni sono state risolte mediamente entro le 12 ore e che, come facilmente prevedibile, il numero di treni coinvolti cresce con la durata dell'interruzione.

Inoltre, osservando il rapporto tra il numero di treni coinvolti in eventi franosi e la densità di linee ferroviarie regionali (fig. 15), si deduce che il numero di treni che hanno subito interruzioni del servizio aumenta all'aumentare della densità, in quanto con essa aumenta presumibilmente l'intensità di circolazione.

In order to draw up a list of national criticalities and to identify areas where in-depth study is to be performed by carrying out an analysis of landslide risk, indicators should be extended to a more detailed level, as for provinces and municipalities.

By way of example, the representation of these indexes for the provinces of the Emilia Romagna Region is reported below (figg. 6, 7 and 8).

The graphs show that the Provinces of Emilia have an average landslide index of around 13%, surpassed only by the provinces of Piacenza and Parma, with a value of 17% and 20% respectively.

In the province of Piacenza an average of 2.2 landslides per km² is recorded, with surface density of about 0.075 km².

Equally for the Parma Province regional landslides density values of about 5 landslides per km² are obtained, with a surface density of about 0.038 km².

3.3. Interaction between landslides and transportation

3.3.1. Regional railway infrastructure

An overview of Italian regional railway infrastructure is represented by the graph in fig. 9, which shows the relationship between the total length of railroad tracks and the regional surface extension.

On average there are 0.08 km/km² of railway lines in each region, with a maximum represented by the Liguria region with approximately 0.15 km/km² and a minimum represented by Sardinia with 0.02 km/km².

3.3.2. Correlation between density of landslides and density of the railway network

The probability that a landslide could affect the railway network is greater the higher the ratio of the length of the railway line and the regional area involved by landslides.

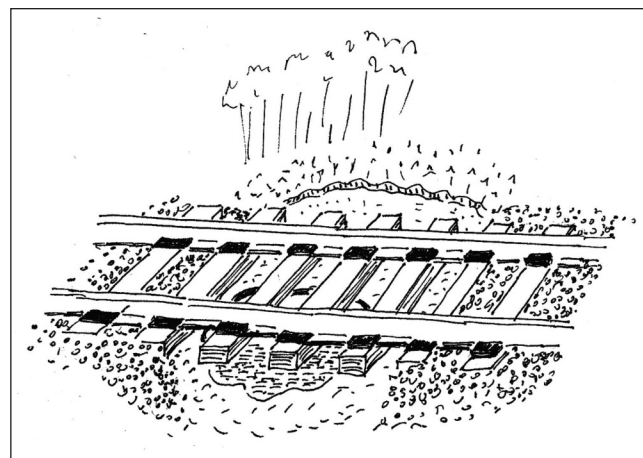


Fig. 13 - Erosione del rilevato su cui è poggiato l'armamento.

Fig. 13 - Erosion of the embankment on which the permanent way rests.

SCIENZA E TECNICA

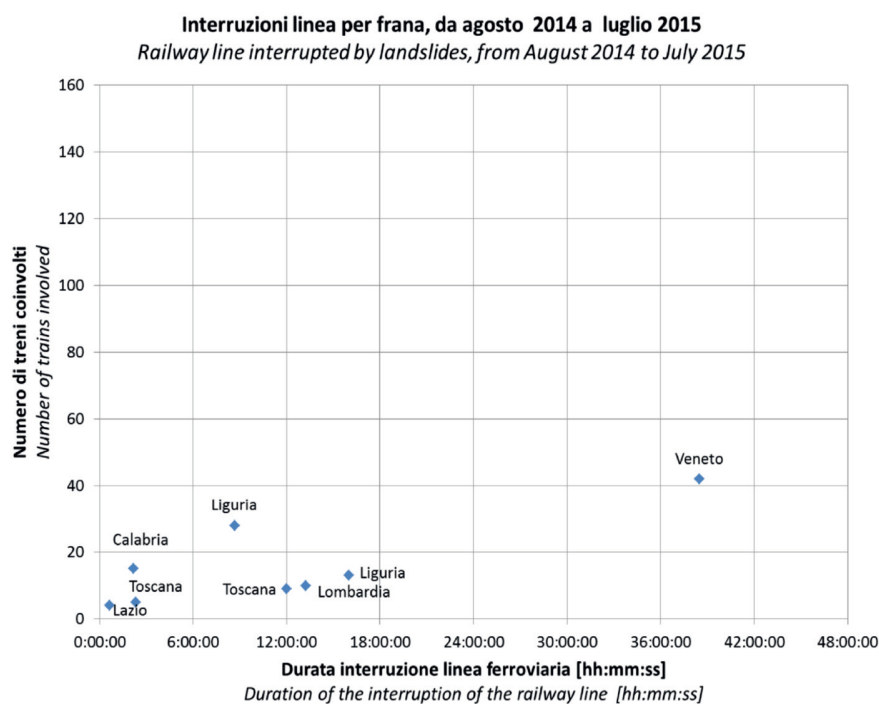


Fig. 14 - Interruzione della linea ferroviaria per frana.
 Fig. 14 - Interruption of the railway line caused by a landslide.

Analogamente, si riporta nella fig. 16 il numero di treni coinvolti in allagamenti ed esondazione, ed in fig. 17, quello dei treni coinvolti in alberi caduti sui binari.

consistent with what is indicated by the graph in fig. 10 (as Communicated by RFI on March 31, 2015). In fact the most affected regions (Liguria, Campania and Piedmont) all have a value above average of that ratio.

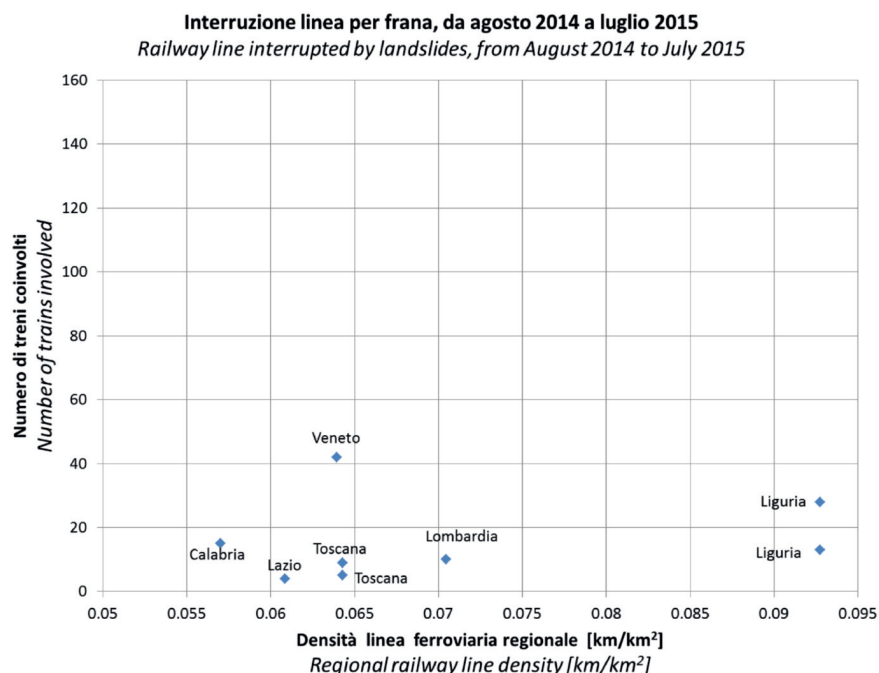


Fig. 15 - Rapporto tra numero di treni coinvolti in eventi franosi e densità della rete ferroviaria regionale.

Fig. 15 - Ratio of the number of trains involved in landslides and the density of the regional railway network.

To a first approximation, and in the absence of specific information on the location of the railway lines with respect to the landslide areas, we could correlate the likelihood that a landslide may affect the rail network to the relationship between the extension of the railway line itself and the regional area involved by landslides (fig. 10).

In other words, if the landslides and the rail network were evenly distributed throughout the territory, the contribution to the risk, with the same landslide area, would be greater the higher the extension of the rail network.

For example the Liguria Region has a ratio between the extension of the railway network in operation and the extension of regional landslides equal to 1.17 km/km².

On average this value for the region is around 0.60 km/km².

Even recent investments to secure areas near the tracks, compared to hydrogeological instability, would seem consistent with what is indicated by the graph in fig. 10 (as Communicated by RFI on March 31, 2015). In fact the most affected regions (Liguria, Campania and Piedmont) all have a value above average of that ratio.

4. Analysis of the consequences on the railway system

4.1. Incidental events

By way of example, some of the events of the period 2014-2015 that have caused delays to rail traffic or damage to infrastructure are reported in table 2, obtained by processing the customer press releases [6].

Table 2 shows that such events, whether they are related to landslides, flooding or high winds, occurred over most of the Italian territory. Analysing the areas affected by landslides only we can verify that, as confirmation of their complexity, the geological and morphological contexts are extremely heterogeneous.

For example the events developed both along the coast and in the inland areas, on both coastal and alpine slopes also in conjunction with critical climatic situations.

SCIENZA E TECNICA

Per allagamenti ed esondazione i tempi di risoluzione sono mediamente di circa 9 ore mentre per la presenza di alberi sui binari di 4 ore. Il numero di treni coinvolti decresce, in entrambi i casi, con la diminuzione del tempo necessario alla ripresa del servizio.

4.3. Ipotesi di modello di correlazione tra frane e parametri territoriali e infrastrutturali

Al fine di valutare a livello regionale le frane che hanno interessato la rete ferroviaria sulla base dei dati territoriali e infrastrutturali, è stata sviluppata una analisi regressiva di tipo multiplo, con modello polinomiale. I parametri presi in considerazione come variabili indipendenti, sono i seguenti:

- X_1 : Superficie regionale interessata da fenomeni franosi;
- X_2 : Estensione della linea ferroviaria in esercizio;
- X_3 : Estensione della superficie regionale;
- X_4 : Estensione della superficie montano collinare;

La variabile dipendente Y è il numero di eventi franosi che hanno interessato le linee ferroviarie.

I risultati dell'analisi hanno evidenziato l'esistenza della seguente correlazione:

$$Y = 0.009 X_1 - 0.016 X_2 + 0.0013 X_3 + 0.0003 X_4$$

Nella tabella 3 sono riportati i parametri statistici che consentono di valutare la validità della regressione.

Tenuto conto che la relazione trovata vale nel solo campo dei dati, va osservato che i dati disponibili potrebbero essere affetti da incertezze ed approssimazioni e che in presenza di dati omogenei e più numerosi si dovrà

TABELLA 3 – TABLE 3

Parametri della correlazione multipla
Multiple correlation parameters

Statistica della regressione Regression statistics	
R multiplo Multiple R	0.787
R^2 R^2	0.620
R^2 corretto R^2 corrected	0.455
Errore standard Standard error	21.480
Osservazioni Remarks	17

Interruzioni linea per allagamenti ed esondazioni, da agosto 2014 a luglio 2015
Railway line interrupted by flooding, from August 2014 to July 2015

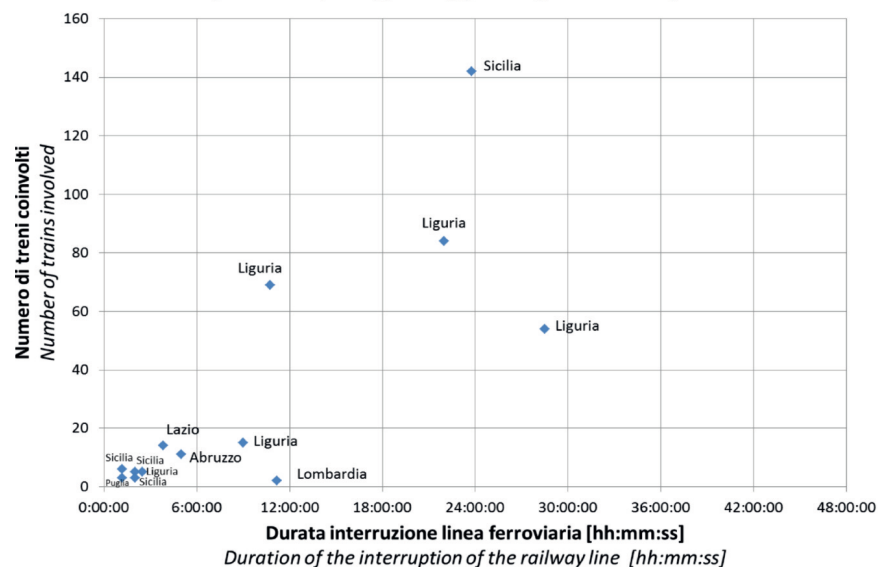


Fig. 16 - Interruzione della linea ferroviaria per allagamenti ed esondazione.

Fig. 16 - Interruption of the railway line caused by flooding and overflowing.

In summary, the type of events detected are (figg. 11, 12 and 13):

- landslides;
- material falling onto the tracks;
- transport of debris on the tracks;
- flooding of the railway site for overflowing;
- erosion of the embankment on which the permanent way rests;
- flooding of the railway site for heavy rainfall.

4.2. Effects on rail traffic

The consequences for rail traffic can be analysed by examining traffic interruptions recently.

Fig. 14 for example, shows the ratio of the number of trains involved in landslides, occurred between January 2014 and July 2015, and the duration, in hours, of the interruption of service derived from press releases to users [6].

Among the available data those with an expected downtime of the railway of more than 48 hours were excluded, rarest and supposedly linked to territorially larger instability situations.

The graph shows that such interruptions were resolved within 12 hours and that as easily predictable, the number of trains involved increases with the duration of the outage.

Also, by looking at the ratio of the number of trains involved in landslides and the density of regional rail lines (fig. 15), we can infer that the number of trains that have

SCIENZA E TECNICA

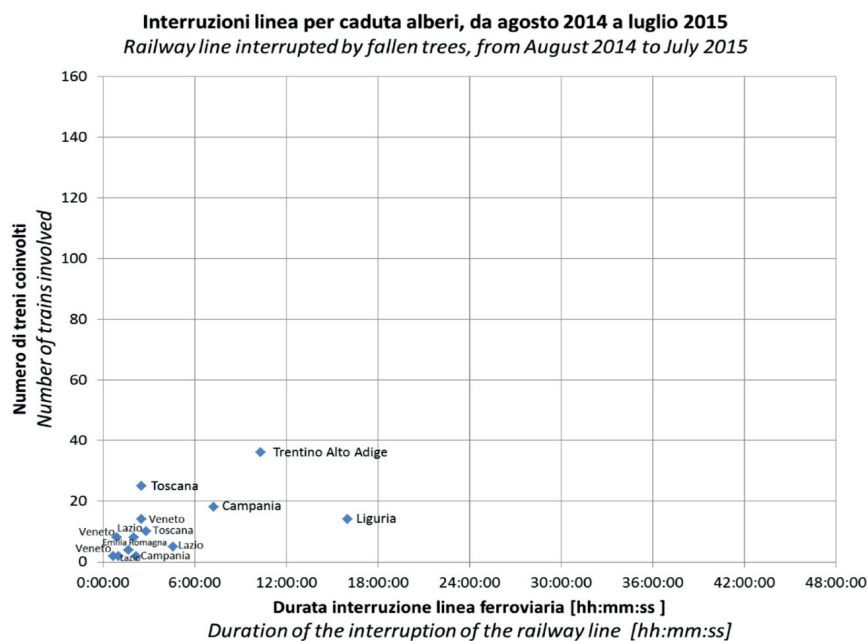


Fig. 17 - Interruzione della linea ferroviaria per alberi sui binari.

Fig. 17 - Interruption of the railway line caused by trees on the tracks.

procedere ad una analisi del livello di indipendenza reciproca tra le variabili che costituiscono l'insieme delle variabili indipendenti ed a specifici test di validità.

L'elevato valore dell'errore standard potrebbe derivare dal limitato numero di osservazioni disponibili.

Tuttavia, si ritiene che permanga la validità del modello ipotizzato in quanto potenzialmente in grado di fornire un'indicazione sulle aree della rete ferroviaria maggiormente suscettibili ad essere sede di eventi franosi.

Esso, infatti, consente di ottenere utili indicazioni anche in assenza di indicatori territoriali ed infrastrutturali più dettagliati e più specifici di quelli qui considerati.

4.4. Monitoraggio dei fenomeni franosi per costituire una banca dati di riferimento da utilizzare per modelli rappresentativi e previsionali

Per ottenere modelli più affidabili dal punto di vista della previsione degli eventi franosi potrebbe essere utile monitorare sia i dati geometrici, cinematici e dinamici caratteristici della via (geometria del binario, velocità di transito, carichi applicati dai veicoli, ecc.) sia i dati relativi agli aspetti geologici, geotecnici e morfologici del terreno interessato dal tracciato.

Per ogni zona sensibile è utile mettere in relazione sia la tipologia di evento, la quantità di materiale coinvolto e le distanze da esso percorso (indicatori dell'energia del terreno) sia i parametri caratteristici della linea e del suo uso, come ad esempio:

- zona (caratteristiche topografiche, geologiche, geo-

suffered service downtime increases as the density increases in that the traffic intensity presumably increases.

Similarly, fig. 16 shows the number of trains involved in flooding and overflowing, and fig. 17, shows the trains involved in fallen trees on the tracks. For flooding and overflowing the resolution times are on average about 9 hours and 4 hours for the presence of trees on the tracks. The number of trains involved decreases, in both cases, as the time required for service recovery decreases.

4.3. Correlation model assumptions between landslides and territorial and infrastructural parameters

A multiple type regressive analysis with polynomial model has been developed in order to assess the landslides that have affected the railway network

on the basis of territorial and infrastructural data at regional level. The parameters considered as independent variables, are as follows:

- X_1 : regional area affected by landslides;
- X_2 : Extension of the railway line in operation;
- X_3 : Extension of the regional area;
- X_4 : Extension of the hilly-mountainous area;

The Y dependent variable is the number of landslides that have affected railway lines.

The results of the analysis showed the presence of the following correlation:

$$Y = 0.009 X_1 - 0.016 X_2 + 0.0013 X_3 + 0.0003 X_4$$

Table 3 shows the statistical parameters for assessing the validity of the regression.

Given that the relation found only applies in the data field, it should be noted that the available data may be affected by uncertainties and approximations and that in the presence of homogeneous and more numerous data an analysis of the level of mutual independence between variables that make up the set of independent variables and specific validity tests will have to be carried out.

The high value of the standard error may derive from the limited number of observations available.

However, it is believed that the validity of the model suggested remains as potentially able to provide an indication on the areas of the railway network more susceptible to being home for landslides.

It in fact allows getting useful information even in the

SCIENZA E TECNICA

tecniche, geomorfologiche, uso del suolo, esposizione dei versanti, circolazione idrica sotterranea e superficiale, ecc.);

- tracciato (tipologia della sede, andamento plano-altimetrico, opere di difesa, opere di drenaggio, ecc.);
- binario (geometria, allineamento, sghembo, curvatura, livello, ecc.);
- sistema di comando e controllo della circolazione;
- limiti di carico del binario;
- tasso di utilizzazione della linea.

Il database conseguente potrebbe fornire, utilizzando modelli descrittivi di tipo statistico, indicazioni più precise sulla suscettibilità dei versanti a franare e sulla previsione degli effetti di eventi franosi sulla rete ferroviaria.

Il fenomeno del dissesto idro-geologico e delle sue conseguenze sul sistema ferroviario rientra tra gli eventi la cui manifestazione dipende sia da componenti stocastiche (apparizione del dissesto) sia da componenti deterministiche (circolazione ferroviaria).

Pertanto l'approccio modellistico è in genere di tipo statistico, in cui la probabilità di accadimento può essere stimata attraverso le osservazioni periodiche. In tal caso l'aspetto deterministico non viene considerato.

Tuttavia lo studio può essere soddisfacente per l'analisi della pericolosità dei fenomeni ma non del rischio associato che deve, necessariamente, considerare anche l'aspetto deterministico dell'uso della linea ferroviaria.

Un approccio che potrebbe contribuire alla conoscenza del fenomeno nel suo complesso può essere quello della ricerca di eventuali relazioni che intervengono e lo influenzano, sconosciute a priori, ad esempio mediante l'uso di modelli a reti neurali. Tali modelli infatti fondando il loro funzionamento sull'esame dei dati osservati per la costruzione di relazioni funzionali da utilizzare per la stima degli eventi che possono accadere in determinate circostanze (stati evolutivi del terreno, situazioni ambientali, modalità di uso della linea).

Un modello a reti neurali è stato proposto per lo studio delle conseguenze sulla circolazione derivanti da avarie a componenti del sistema ferroviario (MALAVASI e RICCI, 2003 [7]).

La sua applicazione ad un caso di studio ha dimostrato la validità dell'approccio dovuta in particolare alla possibilità di evitare analitiche definizioni del sistema complesso (regole operative, affidabilità dei componenti, ecc.) e di rappresentare l'effetto di parametri stocastici (comportamento umano).

Il quadro dettagliato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio italiano realizzato attraverso il progetto IFFI costantemente aggiornato può costituire il database di riferimento per i parametri territoriali necessari per l'implementazione dei modelli previsionali.

L'applicazione del modello a reti neurali, nel caso di studio, appare relativamente semplice poiché non richiede

absence of more detailed and more specific territorial and infrastructure indicators than those considered here.

4.4. Landslides monitoring in order to constitute a reference database to use for representative and forecast models

To obtain more reliable models from the perspective of landslide forecasting it could be useful to monitor both geometric, kinematic and dynamic data typical of the permanent way (track geometry, transit speed, loads applied by vehicles, etc.) and geological, geotechnical and morphological aspects of the land.

For each sensitive area it is useful to relate both the type of event, the amount of material involved and the distances run by it (soil energy indicators) and the typical parameters of the line and its use, such as for example:

- *area (topographic, geological, geotechnical, geomorphological characteristics, land use, slope exposure, surface and groundwater circulation, etc.);*
- *path (type of site, plano-altimetric trend, defence works, drainage works, etc.);*
- *track (geometry, alignment, twist, curvature, level, etc.);*
- *traffic command and control system;*
- *track load limits;*
- *line utilisation rate.*

Using descriptive statistical models, the resulting database could provide more precise information on the susceptibility of slopes to collapse and on the forecast of the effects of landslides on the railway network.

The hydro-geological instability phenomenon and its consequences on the railway system is one of the events whose manifestation depends both on the stochastic components (appearance of instability) and on deterministic components (rail traffic).

Therefore, the modelling approach is generally statistic, where the likelihood of occurrence can be estimated through periodic observations. In this case the deterministic aspect is not considered.

However the study may be satisfactory for the analysis of harmfulness of the phenomena but not of the associated risk that must necessarily consider the deterministic aspect of the use of the railway line.

An approach that might contribute to the knowledge of the phenomenon as a whole can be that of the research of any relationships that intervene and influence it, unknown a priori, for example by using neural network models. Such models in fact base their operation on the examination of observed data for the construction of functional relationships to use to forecast events that can occur in certain circumstances (evolutionary conditions of the land, environmental conditions, method of use of the line).

A neural network model was proposed to study the effects on traffic arising from breakdowns in the rail system components (MALAVASI and RICCI, 2003 [7]).

SCIENZA E TECNICA

derebbe la conoscenza dettagliata di leggi costitutive e funzionali del fenomeno franoso di difficile generalizzazione a causa della peculiarità di ogni singolo caso. Inoltre gli algoritmi di intelligenza artificiale sono ormai consolidati e disponibili nelle piattaforme informatiche più diffuse.

Per l'applicazione sono necessari i seguenti insiemi di dati (tra parentesi è riportata una indicazione della consistenza relativa):

- dati di apprendimento (65%) utilizzati per la costruzione del modello;
- dati di verifica (25%) utilizzati per valutare la rispondenza del modello a risultati noti ed eventualmente modificare la topologia della rete;
- dati di validazione (10%) per valutare le prestazioni.

Nella fase successiva della presente ricerca, sulla base della disponibilità effettiva di dati si potrà procedere alla verifica dell'approccio proposto.

5. Esempi di monitoraggio strumentale per la prevenzione del rischio

Nel seguito si riporta una breve rassegna degli strumenti attualmente impiegati nel monitoraggio dei fenomeni franosi. La tabella 4 è stata elaborata sulla base dei risultati del Progetto di ricerca europeo SafeLand, (febbraio 2012 [8]).

Per ogni categoria strumentale sono distinte:

- le diverse tecniche attualmente adottate;
- i parametri misurabili;
- il posizionamento dello strumento o del sensore;
- l'accuratezza;
- la risoluzione teoricamente ottenibile in termini di spazio e di tempo.

Inoltre la scelta del sistema e dei relativi strumenti dipende dalla tipologia dei fenomeni, dalle componenti territoriali ed ambientali e dagli obiettivi del monitoraggio che possono essere: conoscitivo (tipo di fenomeno), controllo (evoluzione), emergenza (conseguenze del fenomeno sul territorio).

Considerando l'estensione territoriale e la varietà di contesti geologici, il ricorso a specifici sistemi di monitoraggio diffusi sul territorio comporta notevoli investimenti che necessariamente dovranno essere scelti e valutati in termini di efficienza tecnico-economica.

D'altronde i regolari controlli in atto sull'intera infrastruttura ferroviaria, finalizzati al mantenimento delle prestazioni, forniscono continue indicazioni sullo stato della via che potrebbero costituire indicatori indiretti di incipienti dissesti.

A tal fine si riportano nel seguito due esempi di interventi diagnostici, recentemente apparsi nella letteratura

Its application to a case study demonstrated the validity of the approach due in particular to the possibility of avoiding analytical definitions of the complex system (operating rules, reliability of components, etc.) and of representing the effect of stochastic parameters (human behaviour).

The detailed framework on the distribution of landslides on the Italian territory created through the IFFI project constantly updated can be the reference database for the territorial parameters necessary for implementing the forecasting models.

The application of the neural network model in the case study, appears relatively simple because it would not require detailed knowledge of constitutive and operational laws of landslides of hard generalisation because of the peculiarities of each case. Also the artificial intelligence algorithms are now consolidated and available in the most popular information technology platforms.

The following data set is required for application (an indication of the relative size is provided in brackets):

- *learning data (65%) used in the construction of the model;*
- *tracking data (25%) used to assess the compliance of the model with known results and possibly modify the network topology;*
- *validation data (10%) to assess performance.*

In the next phase of this research, we can proceed with the verification of the proposed approach based on the actual availability of data.

5. Examples of instrumental monitoring for risk prevention

The following is a brief review of instruments currently employed in monitoring landslides. Table 4 was drawn up on the basis of the results of the SafeLand European research Project (February 2012 [8]).

The following are distinguished for each instrumental category:

- *different techniques presently adopted;*
- *measurable parameters;*
- *placement of the instrument or sensor;*
- *accuracy;*
- *the resolution theoretically obtainable in terms of space and time.*

Also the choice of the system and related instruments depends on the type of phenomena, the territorial and environmental components and the monitoring objectives that may be: cognitive (phenomenon type), control (evolution), emergency (consequences of the phenomenon in the area).

Considering the territorial extension and the variety of geological contexts, the use of specific monitoring systems spread over the territory requires significant investments

SCIENZA E TECNICA

TABELLA 4 – TABLE 4

Strumentazione di monitoraggio comunemente usata
Commonly used monitoring equipment

Classe Class	Tecnica - Strumento Technique - Tool	Parametri misurati Measured parameters	Posizione dei sensori Position of sensors	Accuratezza Accuracy	Risoluzione teorica Theoretical resolution	
					Spaziale (punti/m ²) Space (points/m ²)	Temporale (time lapse tra le acquisizioni) Temporal (time lapse between acquisitions)
Sensori ad ottica passiva Passive optics sensors	Imaging Imaging	Radianza (spostamenti, caratteristiche ed eleva- zione della superficie) Radiance (movements, characteristics and height of the surface)	G	cm	1-100	secondi - anni ⁽¹⁾ seconds - years ⁽¹⁾
			A	m	1-400	mesi - anni months - years
			S	m	0.1-4	giorni days
Sensori ad ottica attiva Active optics sensors	Misuratori di distanza Distance gauges	Distanza Distance	G	mm	0.01-1	minuti - anni ⁽¹⁾ minutes - years ⁽¹⁾
	Lidar terrestre Terrestrial Lidar	Coordinate 3D 3D coordinates	G	cm	10-100	ore-giorni ⁽¹⁾ hours-days ⁽¹⁾
	Lidar aereo Air Lidar	Coordinate 3D 3D coordinates	A	dm	0.1-1	ore-giorni ⁽¹⁾ hours-days ⁽¹⁾
Sensori attivi a microonde Active Microwave sensors	Misuratori di distanza ad interferometria radar Distance gauges with radar interferometry	Distanza Distance	G	mm	0.01-1	minuti - anni ⁽¹⁾ minutes - years ⁽¹⁾
	InSAR terrestre Terrestrial InSAR		G		0.05-2	minuti - anni ⁽¹⁾ minutes - years ⁽¹⁾
	InSAR differenziale Differential InSAR		S		0.001-1	mesi months
	InSAR avanzato Advanced InSAR		S		0.0001-1	mesi months
Strumentazione geotecnica Geotechnical instrumentation	Estensimetri Strain gauges	Distanza Distance	G	mm	1	secondi - anni ⁽¹⁾ seconds - years ⁽¹⁾
	Inclinometri Inclinometer	Inclinazione Inclination	G	mm	1	secondi - anni ⁽¹⁾ seconds - years ⁽¹⁾
	Piezometri Iezometers	Pressione interstiziale Interstitial pressure	G		1	secondi - anni ⁽¹⁾ seconds - years ⁽¹⁾
Altri sensori	Sistema satellitare globale di navigazione Global navigation satellite system	Coordinate 3D 3D coordinates	G	mm	10 ⁻³ a 10 ⁻²	secondi - anni ⁽¹⁾ seconds - years ⁽¹⁾
Posizione dei sensori: G = terra; A = aereo; S = satellite. Position of the sensors: G = Earth; A = air; S = satellite. Risoluzione temporale: ⁽¹⁾ = su richiesta. Temporal resolution: ⁽¹⁾ = upon request.						

tecnica, che pur essendo riferiti a fenomeni differenti rispetto al dissesto idrogeologico in senso stretto, possono fornire utili spunti di riflessione sulla gestione della sicurezza attraverso un approccio sistematico al monitoraggio:

- il primo si basa sul principio che deviazioni eccessive della geometria del tracciato possono derivare sia da difetti della struttura del binario sia dall'instabilità della sedime di appoggio sottostante. Lo strato di ballast infatti può mascherare a volte il comportamento

that must be necessarily chosen and evaluated in terms of technical and economic efficiency.

After all the regular checks in place on the entire railway infrastructure, aimed at maintaining performance, provide continuous indications on the status of the permanent way that could constitute indirect indicators of incipient instability.

To this end, two examples of diagnostic interventions are reported below that recently appeared in technical liter-

SCIENZA E TECNICA

del terreno sottostante e della geo-struttura di sottotondo, nascondendoli alla vista;

- il secondo parte dall'ipotesi che l'evoluzione temporale del comportamento statico e dinamico del binario, rilevabile con monitoraggi periodici, possa fornire indicazioni significative circa l'insorgere ed il progredire di eventuali stati di degrado.

5.1. Ispezioni e prove geotecniche periodiche

Sulla rete ferroviaria Queensland, 2400 km di estensione, sono effettuate periodicamente ispezioni e prove geotecniche, tra cui (MIRZABABAEI, et al., 2014 [9]):

- classificazione del suolo (granulometria, contenuto d'acqua, mineralogia, ecc.);
- determinazione dei Limiti di Consistenza;
- esecuzione di prove di compattazione Proctor;
- esecuzione di prove di verifica delle caratteristiche meccaniche di resistenza, CBR.

I punti dove eseguire i test vengono scelti rispetto ai risultati di indagini preliminari eseguite annualmente con Ground Penetration Radar ed ai dati, rilevati più volte nell'anno, sulla geometria del binario.

Le problematiche osservate sulla rete riguardano tra l'altro fenomeni tipo mudhole e pumping sleepers, ossia la comparsa di pozze di fango (mudhole) durante la stagione delle piogge a causa del cattivo drenaggio del ballast, soprattutto per effetto delle polveri ed incrostazioni del carbone. La risalita del fango (pumping sleepers) si sviluppa nei pressi delle traverse non adeguatamente ancorate che nel tempo esercitano un effetto di pompaggio delle acque e dei materiali fini sottostati.

5.2. Analisi della risposta in frequenza della massicciata ferroviaria e del sottotondo

Un recente lavoro (SHARPE e GOVAN, 2014 [10]) ha evidenziato l'efficacia della tecnica dei deflettometri a massa battente (FWD, correlazione tra impulso applicato al binario e risposta in frequenza rilevata tramite geofoni) per la valutazione dell'adeguatezza del binario (massicciata e sottotondo) a supportare carichi mobili circolanti sul binario.

Gli autori riportano due esempi: uno relativo alla verifica della rigidità per un aumento della velocità e l'altro per un aumento del carico per asse.

In entrambi i casi la tecnica FWD ha consentito di identificare le aree con rigidità insufficiente per l'aggiornamento proposto.

L'obiettivo dello studio è diverso da quello affrontato in questa sede. Tuttavia la correlazione tra rigidità e uso della via costituisce un indicatore utile per la sicurezza di circolazione. L'evoluzione della rigidità, infatti, oltre a segnalare l'insorgere di modifiche geo-strutturali del binario fornisce indicazioni utili alla possibilità e modalità di circolazione in presenza di situazioni di degrado ed indicazioni utili alla determinazione dei rischi ad essa connessi.

ature, which, although strictly speaking relating to different phenomena compared to hydrogeological instability, can provide useful insights about managing security through a systematic approach to monitoring:

- the first is based on the principle that excessive deviations of the layout geometry may result both from binary structure defects and the instability of the underlying supporting land. The layer of ballast in fact may sometimes mask underlying soil behaviour and that of the substrate geo-structure, hiding them from view;
- the second assumes that the time evolution of the static and dynamic behaviour of the track, detectable with periodic monitoring, can provide significant indications about the onset and progress of any degradation conditions.

5.1. Periodic inspection and geotechnical tests

Inspections and geotechnical tests are periodically run on the 2400 km long Queensland railway network, including (MIRZABABAEI, et al., 2014 [9]):

- soil classification (particle size, water content, mineralogy, etc.);
- determination of Consistency Limits;
- execution of Proctor compaction tests;
- verification testing of the mechanical characteristics of resistance, CBR.

The points where to run tests are chosen with respect to the preliminary investigations results performed annually with Ground Penetration Radar and to data, surveyed several times in the year, on track geometry.

The problems observed on the network include among other mud hole and pumping sleepers type phenomena, namely the appearance of mud pools (mud holes) during the rainy season because of bad drainage of the ballast, mainly as a result of dust and coal deposits. Rising mud (pumping sleepers) develops in and around not properly anchored sleepers that over time have a pumping effect of water and underlying fine materials.

5.2. Frequency response analysis of the railway ballast and substrate

A recent paper (SHARPE and GOVAN, 2014 [10]) showed the effectiveness of the deflect meters blowback technique (FWD, correlation between impulse applied to the track and frequency response detected by geophones) for the assessment of the adequacy of the track (ballast and subbase) to support mobile loads running the track.

The authors report two examples: one concerning the verification of the stiffness as a result of increase in speed and the other due to increased load per axle.

In both cases the FWD technique has allowed identifying areas with low stiffness for the proposed update.

SCIENZA E TECNICA

6. Considerazioni sui sistemi diagnostici per prevedere il verificarsi di pericoli derivanti da dissesti idrogeologici

Sulla base dei risultati dell'approccio presentato, con i necessari approfondimenti a livello regionale e utilizzando al meglio anche eventuali altri dati del sistema ferroviario sarebbe possibile definire le priorità per la messa in opera di un sistema di monitoraggio in grado di ridurre il rischio associato ai differenti fenomeni di dissesto ed efficiente dal punto di vista tecnico economico.

Ponendo l'attenzione sui fenomeni franosi, gli aspetti da sviluppare dovrebbero essere i seguenti:

- definizione della fascia da mettere sotto osservazione lungo l'asse ferroviario (dipende dal tipo di dissesto, dalla morfologia, dalla presenza di opere d'arte ed edifici contermini, etc.);
- valutazione dei dissesti presenti entro la fascia di osservazione e loro catalogazione ed identificazione (coordinate, estensione, cinematica, etc.);
- definizione del sistema di monitoraggio che si vuole adottare in funzione della tipologia, velocità, frequenza, etc.;
- valutazione, per ciascuna dissesto o per tipologia di dissesto (con criteri di analogia e omogeneizzazione) della frequenza del monitoraggio e definizione delle soglie di attenzione, allarme e pericolo;
- definizione del protocollo per la gestione dei falsi allarmi;
- definizione delle azioni corrispondenti a ciascuna soglia.

Ciascuna delle azioni descritte deve essere progettata con il fine di ottenere uno strumento di rapido impiego e di riconosciuta efficienza decisionale che consenta al gestore di intervenire tempestivamente nei luoghi dove sia stata riscontrata una anomalia della misura.

In tal senso, non devono essere scelti sistemi con precisione elevata ma, piuttosto, di elevata ripetitività e scarsa sensibilità alle condizioni al contorno delle misura stessa.

Il tema da affrontare, quindi, non è tanto se un'area ha subito spostamenti millimetrici, ma se si è avuto uno spostamento anomalo rispetto alla sua storia. Infatti, le frane in atto sono, in genere, già oggetto di monitoraggio strumentale nel senso classico del termine (inclinometri, piezometri, capisaldi topografici, etc.) e, ovviamente, questi dati e misure devono rientrare a pieno titolo in un eventuale sistema di gestione globale del monitoraggio.

La scelta deve, invece, ricadere su sistemi in grado di coprire anche grandi aree, fornire una "visione" globale della stabilità dell'area di interesse, essere di facile utilizzo e con dati che possano essere gestiti ed archiviati in modo automatico.

Il sistema, inoltre, dovrebbe poter garantire una anali-

The objective of the study is different from the one addressed here. However the correlation between stiffness and use of the permanent way is a useful indicator for safe traffic. The evolution of stiffness, in fact, in addition to reporting the occurrence of geo-structural changes of the track provides useful insight to the possibility and circulation modality in the presence of situations of degradation and information useful for determining the risks associated with it.

6. Considerations on diagnostic systems to forecast the occurrence of dangers resulting from landslides

Based on the results of the approach presented, with the necessary insights at regional level and making the best use of any other data of the rail system, it would be possible to define priorities for the implementation of a monitoring system capable of reducing the risk associated with the various instability phenomena and efficient from an economic and technical perspective.

Focusing on landslides, the aspects to be developed should be:

- *definition of the area to put under observation along the railway axis (it depends on the type of instability, the morphology, the presence of works of art and neighbouring buildings, etc.);*
- *evaluation of landslides present within the observation range and their cataloguing and identification (coordinates, extension, kinematics, etc.);*
- *definition of the monitoring system that one wants to adopt depending on the type, speed, frequency, etc.;*
- *assessment, for each instability or by type of instability (with analogy and homogenisation criteria) of the frequency of monitoring and definition of the alertness, warning and danger threshold;*
- *definition of the protocol for the management of false alarms;*
- *definition of actions corresponding to each threshold.*

Each of the measures described must be designed with the aim of obtaining a quick employment and decision-making efficiency recognised tool that allows the manager to quickly intervene in places where a measure anomaly has been identified.

In this sense, systems with high accuracy should not be chosen but, rather, with high repetitiveness and lack of sensitivity to the operating conditions of the measure itself.

The issue to be addressed, therefore, is not so much whether an area has undergone millimetric displacements, but if an abnormal displacement has occurred with respect to its history. In fact, on-going landslides are usually already under instrumental monitoring in the classic sense (inclinometers, piezometers, topographical landmarks, etc.)

SCIENZA E TECNICA

si automatica dei dati (almeno preliminare) che dia al gestore una prima valutazione delle misure.

Al raggiungimento delle soglie di attenzione, il gestore dovrà attivare una procedura di valutazione del falso allarme (per evitare di essere causa di disservizi inutili) ed eventualmente procedere ad una ispezione del sito.

Al raggiungimento della soglie di allerta, il gestore dovrà attivare una procedura di monitoraggio manuale di maggiore frequenza e precisione, alla soglia di pericolo si dovrà procedere all'interruzione della linea ed alla successiva messa in sicurezza dell'area.

Ovviamente a questa procedura possono essere affiancati studi di approfondimento e progetti di stabilizzazione puntuali che determinano aggiornamenti continui del quadro conoscitivo.

Il sistema che sembrerebbe avere questi requisiti (o almeno potenzialmente potrebbe essere adattato allo scopo) è quello del laser scan da eseguirsi sulla fascia di interesse con cadenza periodica (ad esempio una volta a settimana o una volta al mese) sovrapponendo le immagini su punti considerati fissi ed analizzando con software dedicato il resto dell'immagine ovvero si potrebbero utilizzare delle immagini ad alta risoluzione.

La tecnica detta "image matching" o "feature tracking" è stata efficacemente impiegata per lo studio dello spostamento dei ghiacciai e delle frane (SCAIONI et al., 2015 [11]).

La tecnologia del laser scan ha, in questa applicazione, dei vantaggi su tutti gli altri sistemi di monitoraggio che riguardano:

- velocità di acquisizione dati;
- possibilità di utilizzo anche con condizioni di visibilità differenti (ad esempio di notte);
- automazione nell'acquisizione delle misure e nell'elaborazione dei dati;
- possibilità di filtrare i dati in relazione agli oggetti (ad esempio vegetazione) rilevati;
- possibilità di riconoscere oggetti;
- costo relativamente basso delle attrezzature in relazione all'area messa sotto monitoraggio (con una attrezzatura si possono monitorare intere linee);
- assenza (a meno di casi particolari) di installazioni fisse o mobili sul territorio.

Di contro, i problemi da risolvere e che devono essere oggetto di studi e ricerche specifiche sono legati al posizionamento dello strumento di misura ed alla necessità di disporre di una notevole potenzialità di calcolo.

Infatti, il massimo dell'utilità della tecnologia potrebbe essere raggiunta posizionando su una motrice uno o più strumenti in grado di rilevare la fascia di interesse durante il tragitto del convoglio (eventualmente utilizzando dei convogli a velocità ridotta durante le ore notturne)

and, of course, this data and measurements must fall fully under any global management monitoring system.

The choice must, however, fall on systems that can cover even large areas, provide a global "vision" of the stability of the area involved, ease of use and with data that can be managed and stored automatically.

In addition, the system should be able to guarantee an automatic data analysis (at least preliminary) that gives the manager a first assessment of the measures.

When the alertness thresholds are reached, the manager must activate a false alarm assessment procedure (to avoid causing unnecessary disruption) and, if necessary, carry out a site inspection.

When the alertness thresholds are reached, the operator will activate a manual monitoring procedure with higher frequency and accuracy, at the danger threshold it will be necessary to proceed to the line interruption and subsequent implementation of safety measures in the area.

In-depth studies and precise stabilisation projects that determine continuous cognitive framework updates can obviously be combined with these steps.

The system that would seem to have these requirements (or could at least potentially be adapted for the purpose) is the laser scan to be performed periodically on area of interest (such as once a week or once a month) overlaying the images on points considered as fixed and analysing the rest of the image with dedicated software that is to say high resolution images could be used.

The "image matching" or "feature tracking" technique has been effectively employed for the study of the displacement of glaciers and landslides (SCAIONI et al., 2015 [11]).

The laser scan technology has some advantages in this application over all other monitoring systems that include:

- *data acquisition speed;*
- *possibility of using it with different visibility conditions (e.g. at night);*
- *automation in the acquisition of measurements and data processing;*
- *ability to filter data in relation to objects surveyed (such as vegetation);*
- *ability to recognise objects;*
- *relatively low cost of equipment in relation to the area being monitored (entire lines can be monitored with one piece of equipment);*
- *no fixed or mobile installations in the territory (except for special cases).*

On the other hand, the problems to be solved and that must be the subject of specific studies and research are related to the positioning of the measuring instrument and to the need to have considerable computational capacity.

In fact, the ultimate utility of the technology could be achieved by placing one or more instruments on a driving

SCIENZA E TECNICA

per poter sovrapporre i rilievi eseguiti in tempi differenti e valutare (ovviamente con procedura automatica) l'eventuale deformazione di pendii, opere d'arte, edifici, muri e paratie di sostegno, pareti rocciose, rocce isolate, etc..

Su casi particolari di interesse, potrebbero anche essere posizionati dei bersagli fissi per un monitoraggio più accurato. Questi potrebbero anche essere utilizzati per un migliore sovrapposizione delle misure.

Per il corretto posizionamento nello spazio dei rilievi si potrebbe anche sfruttare sia la conoscenza della posizione del treno lungo l'ascissa curvilinea del tracciato, sia il normale posizionamento GPS (con le note difficoltà sulla velocità di acquisizione del dato su un veicolo viaggiante) sia il rilievo di punti considerati fissi sul tracciato su cui "bloccare" il rilievo.

7. Conclusioni

I dati contenuti nell'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani [2] hanno evidenziato che circa il 6% del territorio nazionale è coinvolto da fenomeni franosi di varia tipologia, stato di attività e velocità.

Il modello sintetico proposto, sviluppato sulla base delle carte inventario pubbliche, disponibili presso istituzioni territoriali, che riportano le criticità del territorio italiano rispetto ai fenomeni franosi, evidenzia interessanti correlazioni tra indicatori macroscopici del fenomeno franoso e indicatori di uso del territorio da parte del sistema dei trasporti.

Nonostante i dati utilizzati possano essere affetti da incertezze ed approssimazioni, si ritiene che il modello ipotizzato costituisca un approccio efficace per fornire una indicazione preliminare sulle aree della rete ferroviaria potenzialmente esposte ad un rischio maggiore.

Tali dati, tuttavia, non prendono in considerazione le aree suscettibili a franare e quindi il numero dei fenomeni franosi potenzialmente attesi. Se da un lato, il monitoraggio a lungo termine di fenomeni franosi in atto è ormai una pratica consolidata, l'individuazione di nuove frane è una vera e propria sfida (STUMPF, et al., 2011 [12]).

Un contributo in tal senso, utile anche per l'affinamento del modello, può senz'altro derivare da un sistema diagnostico che integri la banca dati di riferimento relativa al territorio circostante la linea ferroviaria.

L'approccio suggerito per tentare un monitoraggio con frequenza ridotta, estensione notevole, in continuità di servizio e con elaborazione automatica del dato senza significative installazioni fisse, deve essere, ovviamente, oggetto di sperimentazioni in scala reale. Ciò non tanto per validare il sistema di acquisizione su cui la tecnologia è molto consolidata e robusta, quanto per valutare la velocità di acquisizione in relazione alla velocità del mezzo, la velocità di elaborazione dati e la possibilità di automatizzare sia le soglie di monitoraggio piuttosto sia il riconoscimento del falso allarme.

vehicle that can detect the area of interest en route of the train (possibly using trains at reduced speed during night-time) so as to add surveys executed at different times and assess (obviously with an automatic procedure) the possible deformation of slopes, artwork, buildings, walls and supporting walls, cliffs, isolated rocks, etc..

On particular cases of interest, fixed targets could also be placed for more accurate monitoring. These could also be used for better overlapping of measures.

For correct positioning in the survey areas one may also choose to exploit both the knowledge of the location of train along the line abscissa of the track, and the normal GPS positioning (with the known difficulties on the data acquisition speed on a travelling vehicle) as well as the survey of points considered fixed on the route where the survey must be "blocked".

7. Conclusions

The data contained in the Inventory of Italian landslides [2] showed that approximately 6% of the national territory is affected by landslides of various types, activity status and speed.

The synthetic model proposed, developed on the basis of public inventory maps, available at local institutions, which report the critical aspects of Italian territory as regards landslides, highlights interesting correlations between macroscopic indicators of landslides and land-use indicators from the transportation system.

Despite the data used may be affected by uncertainties and approximations, it is believed that the model suggested is an effective approach to provide a preliminary indication on the railway network areas potentially exposed to a greater risk.

Such data, however, do not take into account the areas susceptible to collapse and therefore the number of potentially expected landslides. If on the other hand, long-term monitoring of landslides in place has become an established practice, identifying new landslides is a real challenge (STUMPF, et al., 2011 [12]).

A contribution in this regard, useful also for the refinement of the model, can certainly result from a diagnostic system that integrates the reference database for the area surrounding the railway line.

The approach suggested trying monitoring at reduced frequency, substantial extension, at continuity of service and automatic processing of data without significant fixed installations, must be, of course, subject to full-scale trials. This is not so much to validate the acquisition system on which technology is very well established and robust, but to evaluate the acquisition rate in relation to the speed of the vehicle, the speed of data processing and the ability to automate both the monitoring thresholds and the recognition of the false alarm.

SCIENZA E TECNICA

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] CRUDEN D.M., VARNES D.J., 1996, "Landslide Types and Processes", in Landslides Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, US National Research.
- [2] APAT, 2007, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, "Rapporto sulle frane in Italia: il progetto IFFI - metodologia risultati e rapporti regionali".
- [3] VARNES D.J., and IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements, 1984, "Landslide hazard zonation: a review of principles and practice", UNESCO Press, Paris, p. 63.
- [4] CARRARA A., CARDINALI M., DETTI R., GUZZETTI F., PASQUI V., REICHENBACH P., 1991. GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 16, 427-445.
- [5] Presidenza del Consiglio dei ministri – Dipartimento della Protezione Civile, www.protezionecivile.gov.it, 2014.
- [6] Rete Ferroviaria Italiana, FSnews, <http://www.fsnews.it/fsn/Sala-stampa/Comunicati>, da agosto 2014 a luglio 2015.
- [7] MALAVASI G., RICCI S., 2001, "Simulation of stochastic elements in railway systems using self learning processes", European Journal of Operational Research 131 no. 2.
- [8] UE - FP7, SafeLand, "Living with landslide risk in Europe: assessment effects of global change, and risk management strategies", Deliverable 4.1. Review of techniques for landslide detection, fast characterization, rapid mapping and long-term monitoring, February 2012.
- [9] MIRZABABAEI M., EGWURUBE J., GYASI-AGYEI Y., FOUN D., HAMMOND A., KELEHER P., NISSEN D., 2014, "Classification of Common Geotechnical Failure Types Occurring in Queensland's Heavy Haul Rail Network", Second International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, J. Pombo, (Editor), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland.
- [10] SHARPE P. and GOVAN C.R., 2014, "The use of Falling Weight Deflectometer to Assess the Suitability of Routes for Upgrading", Second International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, J. Pombo, (Editor), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland.
- [11] SCAIONI M., FENG T., LU P., QIAO G., TONG X., LI R., BARAZZETTI L., PREVITALI M., RONCELLA R., 2015, "Close-Range Photogrammetric Techniques for Deformation Measurement: Application to Landslides", In Modern Technologies for Landslide Monitoring and Prediction. Ed. Springer.
- [12] STUMPF A., MALET J.-P., et al. 2011, "Guidelines for the selection of appropriate remote sensing technologies for monitoring different types of landslides", SafeLand, 7th Framework Programme Cooperation.

Sommaire

INTERACTIONS ENTRE INSTABILITÉ HYDROGÉOLOGIQUE ET SYSTÈME FERROVIAIRE: PROPOSITION D'ANALYSE PAR APPROCHE SYNTHÉTIQUE

Le travail présenté dans ce mémoire a pour but de contribuer à l'analyse des interactions entre l'instabilité hydrogéologique et le transport ferroviaire, à travers une approche synthétique de type statistique descriptif, qui mettrait en évidence les corrélations entre les indicateurs microscopiques du phénomène des glissements de terrain et les indicateurs d'utilisation du territoire de la part de l'ensemble des systèmes du transport. Le modèle synthétique est développé sur la base des cartes d'inventaire publiques, disponibles auprès des institutions territoriales et qui documentent la criticité du territoire italien par rapport aux phénomènes des glissements de terrain. Les conséquences sur la circulation ferroviaire ont été analysées à travers l'examen des interruptions de la circulation communiquées aux utilisateurs. Le modèle envisagé peut fournir une indication préliminaire sur les aires du réseau ferroviaire potentiellement plus à risque. Un monitoring de type ponctuel ou extensif, dont quelques exemples sont proposés et analysés, pourrait par la suite intégrer les données disponibles et améliorer le modèle proposé.

Zusammenfassung

WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN HYDROGEOLOGISCHE SCHWIERIGKEITEN UND BAHNSYSTEM: VORSCHLAG EINER ANALYSE MITTELS EINES SYNTETISCHEN ANNÄHERUNGSVERFAHREN

Vorschlag eines statistischen und beschreibenden Annäherungsversuchs, der die Verbindungen zwischen Anzeigern der geologischen Schwierigkeiten und Anzeigern der Bahn-Landbenutzung verdeutlicht. Grund des Verfahren sind die spezialisierte Landmappen, die die öffentlichen Verwaltungen zur Verfügung stellen. Die Folgerungen für den Bahnverkehr wurden auf Grund der Bahn Verkehrs Unterbrechungen festgestellt und analysiert. Nur die Unterbrechungen, die den Kunden mitgeteilt worden waren, wurden gewählt. Das Verfahren kann eine vorläufige Ortung der Bahngebieten die ein potenzielles höheres Risiko beweisen. Einige Beispiele zeigen wie eine punktliche oder ausgedehnte Beobachtung könnten die Daten und das Model verbessern.