

INTEGRAZIONE TRA DATI DI MONITORAGGIO A SCALA LOCALE E TERRITORIALE PER IL MODELLO DI ALLERTA PER FRANE METEO-INDOTTE OPERANTE IN NORVEGIA

Gaetano Pecoraro, Michele Calvello

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno

gpecoraro@unisa.it; mcalvello@unisa.it

Sommario

La nota presenta una metodologia per l'utilizzo di dati di monitoraggio a scala locale all'interno del modello regionale di allerta per frane meteo-indotte operante in Norvegia. In particolare, il sistema di allerta nazionale norvegese, che utilizza delle soglie basate su stime del contenuto d'acqua e dell'apporto idrico del suolo, è integrato da un'analisi degli andamenti nel tempo delle pressioni interstiziali monitorate in una serie di verticali piezometriche. Lo studio è stato condotto considerando come unità territoriali di riferimento i 23266 bacini idrografici della Norvegia. I bacini più significativi per le analisi sono stati selezionati sulla base della presenza di sedimenti sciolti, della franosità e della disponibilità di dati di monitoraggio locale. Le prestazioni dei modelli integrati sviluppati sono state valutate in un periodo di analisi compreso tra gennaio 2013 e giugno 2017. Le analisi preliminari condotte mostrano che le misurazioni di pressione interstiziale effettuate a scala locale possono risultare estremamente utili, in aggiunta ai dati da monitoraggio diffuso, per incrementare l'efficienza dei modelli di allerta per frane meteo-indotte a scala territoriale.

1. Introduzione

Le frane indotte da eventi meteorici hanno rappresentato in tempi recenti un rischio sempre più significativo per edifici, strade, ferrovie e altri sistemi di trasporto in Norvegia. Per la mitigazione del rischio si è fatto ampio ricorso in passato ad interventi di tipo strutturale, che richiedono importanti esborsi economici e tempi di realizzazione piuttosto lunghi. Di conseguenza, gli interventi di tipo non strutturale sono andati via via affermandosi come una valida alternativa (Boje et al., 2014) e, nell'ambito di un piano nazionale di gestione dei rischi valanghe, alluvioni e frane, è stato realizzato un sistema di allertamento nazionale. Relativamente al rischio da frana, il sistema è sviluppato e gestito dall'NVE insieme ad altri partner ed è operativo dal 2013 (Piciullo et al., 2017). I fenomeni oggetto d'indagine sono essenzialmente frane superficiali che avvengono in materiali sciolti innescate da eventi meteorici intensi. Le previsioni vengono effettuate con un orizzonte temporale di 9 giorni utilizzando una combinazione di due parametri: contenuto d'acqua e apporto idrico relativi. Essi vengono calcolati su una griglia di 1 km x 1 km attraverso il modello HBV, al quale vengono fornite misure di temperatura e di precipitazione come dati di input (Beldring et al., 2003). Le soglie sono state calcolate su base statistica, a partire da un campione di 206 eventi franosi (Colleuille et al., 2010). Il modello adottato è stato recentemente integrato in fase decisionale dal giudizio di un team di esperti e dall'utilizzo di mappe di suscettibilità (Krøgli et al., 2018).

Nella presente nota si propone una metodologia per utilizzare misure di pressioni interstiziali raccolte a scala locale all'interno del modello regionale utilizzato dal sistema di allertamento nazionale. Dopo aver individuato, in una fase preliminare, le unità territoriali maggiormente significative sulla base di tre criteri, la metodologia prevede un confronto tra i risultati conseguiti applicando il modello a scala territoriale e quelli ottenuti considerando anche dati provenienti dal monitoraggio delle pressioni neutre a scala locale. La metodologia proposta è applicata ad un bacino idrografico situato nella parte nord-occidentale della Norvegia e rappresenta un primo tentativo di combinare, nell'ambito dello stesso modello di allerta, dati di monitoraggio a scala territoriale e locale.

2. Metodologia proposta

La metodologia proposta è articolata in 3 fasi ed è finalizzata a definire un modello di allerta che combina, sulla base di quanto enunciato da Calvello (2017), dati di monitoraggio su griglia a scala territoriale e misure di pressioni interstiziali raccolte a scala locale (*Fig. 1*).

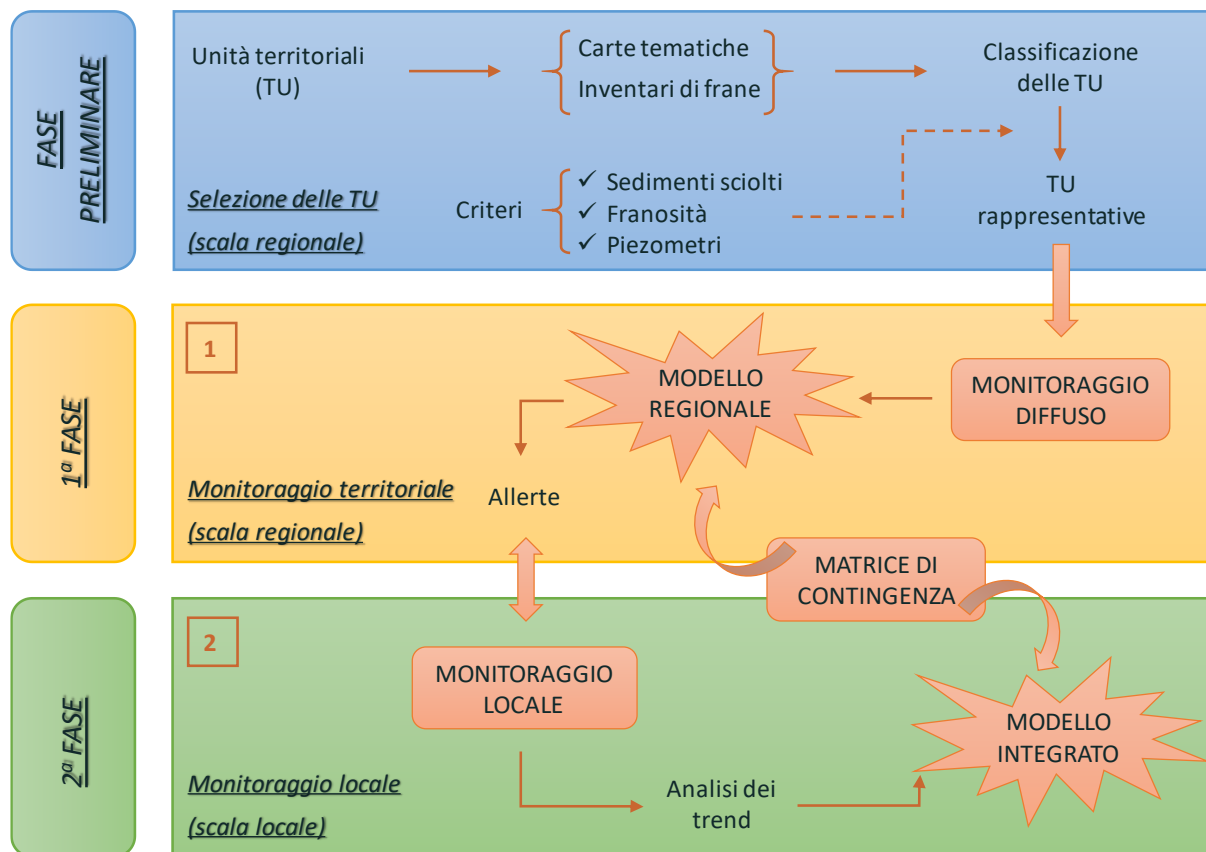


Figura 1. Diagramma di flusso della metodologia proposta per l'integrazione tra dati di monitoraggio a scala territoriale e a scala locale in un modello di allerta regionale.

Nella fase preliminare, le unità territoriali scelte per l'analisi sono classificate sulla base di tre criteri: la presenza di sedimenti sciolti particolarmente suscettibili all'innesco di frane superficiali, l'occorrenza di frane in un arco temporale compreso tra il 2013 e il 2017 e la disponibilità di dati di monitoraggio piezometrico nello stesso periodo di riferimento. Sulla base di questi 3 criteri, sono state identificate le unità territoriali più significative per le analisi. La fase 1 prevede l'applicazione del modello utilizzato nel sistema di allertamento nazionale norvegese (Beldring et al., 2003). In ogni elemento della griglia con cui è discretizzato il territorio della Norvegia, il modello regionale quotidianamente prevede una combinazione di contenuto d'acqua e apporto idrico e successivamente definisce un livello di allerta, tra quattro possibili, sulla base del confronto della combinazione prevista con valori di soglia predeterminati (Colleuille et al., 2010). Nella fase 2 le allerte ricavate dal modello regionale sono riclassificate, in un modello integrato, tenendo conto degli andamenti delle pressioni interstiziali monitorate all'interno dell'unità territoriale considerata (i.e. bacino idrografico). La valutazione della prestazione dei due modelli, ovvero il confronto tra modello regionale e modello integrato, è stata effettuata utilizzando una matrice di contingenza 2 x 4 che considera esplicitamente il numero di livelli di allerta previsti dal modello (4).

3. Applicazione della procedura ad un primo caso di studio

3.1 Fase preliminare

La metodologia proposta è applicata ai bacini idrografici della Norvegia, in quanto la loro estensione areale (in media pari a circa 30 km²) può essere considerata intermedia tra la scala di pendio alla quale operano i sistemi di allerta locali e le aree di rilevante estensione coperte dai sistemi territoriali (Piciullo et al., 2018; Pecoraro et al., 2018). La classificazione dei bacini è stata basata su 3 criteri principali. Il primo luogo è stata valutata la presenza di sedimenti sciolti negli strati superficiali del terreno utilizzando una mappa dei depositi quaternari (<https://www.ngu.no/en/topic/datasets>). Tipicamente in Norvegia le frane superficiali a cinematica veloce hanno origine da questi materiali, per cui una percentuale significativa di tali sedimenti può costituire un indicatore rappresentativo di suscettibilità all'innesco. In secondo luogo, è stata valutata la franosità delle unità territoriali nel periodo di riferimento considerando le diverse tipologie di frana considerate dal sistema di allerta nazionale. I record degli eventi franosi sono stati ricavati da un catalogo predisposto dall'NVE, dall'NGI e dall'NGU e nel quale sono censiti più di 65000 eventi, la maggior parte dei quali avvenuti negli ultimi 20 anni (<https://temakart.nve.no/link/?link=SkredHendelser>). Infine, è stata valutata la disponibilità di misure di pressioni interstiziali negli strati superficiali del suolo, fino ad una profondità massima di 1,5 m. I dati piezometrici fanno riferimento a progetti di monitoraggio sviluppati a scala locale dall'NGI, non necessariamente con finalità di allertamento, aventi intervalli di misura significativi nel periodo considerato. Sulla base di questi criteri, sono state identificate 30 unità territoriali particolarmente significative per gli scopi dell'analisi. L'area di studio alla quale si riferiscono i risultati descritti in questa nota è il bacino di Horvereidelve (Fig. 2), localizzato in una zona costiera nella parte centro-occidentale della Norvegia ed avente un'estensione di circa 14 km². Il bacino è ricoperto per il 55% da sedimenti sciolti, per il 27% da materiali poco inclini all'innesco di frane superficiali e per il restante 18% da rocce nude. Nel corso del periodo gennaio 2013 – giugno 2017 nel bacino sono stati registrati 5 fenomeni franosi, 4 dei quali classificabili come frane superficiali in sedimenti sciolti innescate da infiltrazione meteorica, da scioglimento della neve o da una combinazione di questi due meccanismi.

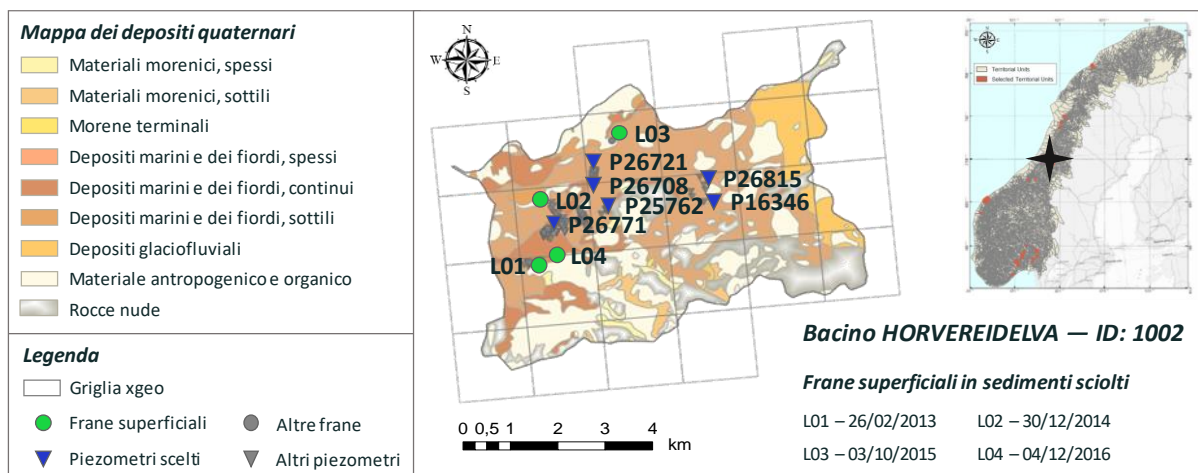


Figura 2. Mappa dei depositi quaternari del bacino di Horvereidelve, con la localizzazione delle frane superficiali avvenute nel periodo 2013-2017 e dei piezometri considerati per le analisi.

3.2 Fase 1

In questa fase il modello utilizzato nel sistema di allerta nazionale è stato applicato al bacino di Horvereidelve. L'area di studio comprende 25 celle da 1 km² per le quali dal portale web <http://www.xgeo.no> è possibile scaricare, tra i vari dati meteo-idrologici disponibili, le stime giornaliere del contenuto d'acqua e dell'apporto idrico prodotte dal modello HBV (Fig. 3a). Il passo

successivo è il calcolo della media dei valori giornalieri delle 25 celle da gennaio 2013 a giugno 2017. Queste combinazioni vengono poi confrontate con le soglie del modello regionale al fine di separare i giorni senza allerte dai giorni con allerte e di definire i livelli di queste ultime (Fig. 3b). Si può notare come per due delle quattro frane non siano emesse allerte, mentre per le altre due vengano emesse allerte moderate di livello 2. Nel periodo di riferimento si registrano 25 allerte: 7 di livello 3 (grave) e 18 di livello 2 (moderato). Il livello 4 (molto grave) non viene mai raggiunto nel periodo di riferimento. Le analisi della fase successiva considerano esclusivamente le 25 allerte emesse.

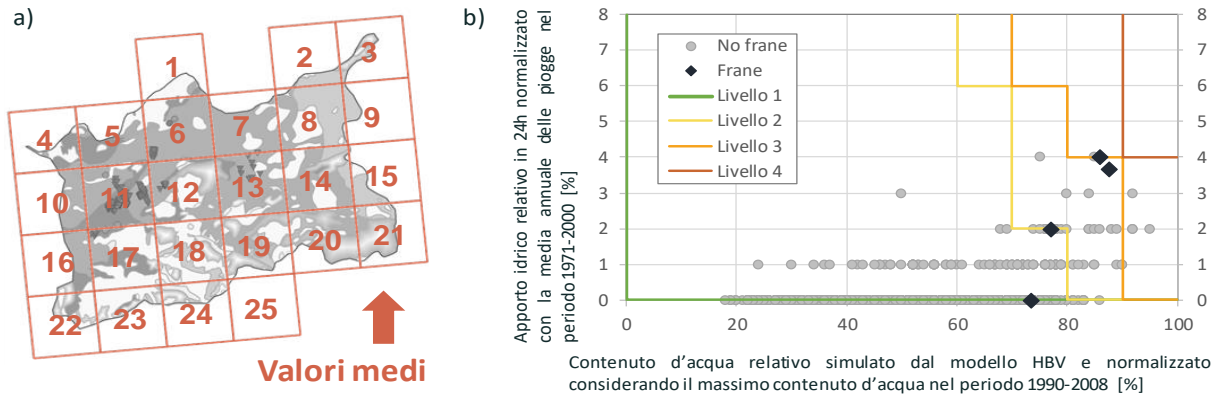


Figura 3. a) Area di studio con suddivisione in celle per la stima dei dati meteo-idrologici e b) risultati dell'applicazione del modello di allerta regionale utilizzato nel sistema nazionale norvegese.

3.3 Fase 2

Lo scopo principale di questa fase è valutare il contributo aggiuntivo fornito dai dati monitoraggio piezometrico locale nei periodi in cui il livello di allerta è superiore a 1. Le misure delle pressioni interstiziali sono ricavate da progetti condotti nell'area di studio dall'NGI dal 2013 al 2017. Su un totale di 158 verticali investigate, i dati utili per l'analisi provengono da 6 piezometri installati negli strati superficiali del suolo (Fig. 4).

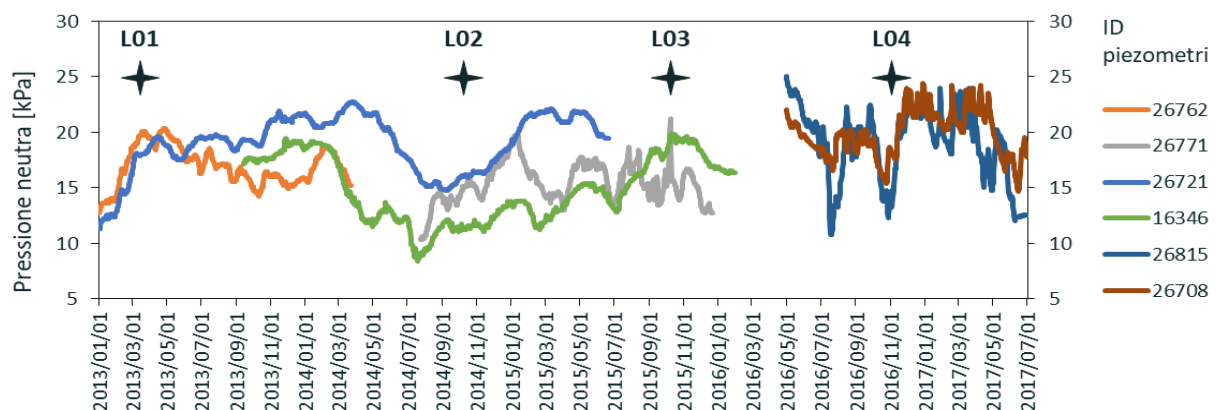


Figura 4. Andamenti delle pressioni neutre nell'area oggetto di studio nel periodo di analisi (nella figura sono evidenziate anche le 4 frane avvenute tra il 2013 e il 2017).

Dal grafico si osserva come i trend delle serie storiche di misure non risultino sempre evidenti a causa di oscillazioni di brevissimo periodo. Per questo motivo, al fine di mettere in risalto tali andamenti è stata utilizzata la media mobile semplice, u_i , valutata per n giorni fino al giorno i (giorno precedente all'innesco del fenomeno franoso), come di seguito riportato:

$$u_i = \sum_{k=i-n+1}^i \frac{p_k}{n} \quad (1)$$

dove: p_k è il valore della pressione neutre registrata negli n giorni considerati.

Il modello di allerta integrato è stato costruito basandosi su due indicatori di variazione delle pressioni interstiziali, Δu_i e Δu_i^* , che utilizzano i valori di media mobile calcolati nel seguente modo:

$$\Delta u_i = u_i - u_{i-n} \quad (2)$$

$$\Delta u_i^* = \frac{\Delta u_i}{\Delta u_{imax}} \quad (3)$$

dove: Δu_i rappresenta la differenza tra le medie mobili calcolate per gli n giorni precedenti all'innesco della frana e riferite al giorno i e al giorno $i - n$; Δu_i^* è il rapporto adimensionale tra Δu_i e la massima differenza registrata nell'intero periodo di misura, Δu_{imax} .

Sulla base di questi due indicatori e considerando n pari a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 14 giorni è stata testata nell'area di studio una procedura suddivisa in 2 passi (Fig. 5). Nel primo passo vengono considerate le differenze tra le medie mobili della maggioranza delle misure piezometriche disponibili (Eq. 2) e, se non emerge un chiaro andamento crescente o decrescente dalle misure, viene confermato il livello di allerta previsto dal sistema regionale. Se, al contrario, Δu_i è chiaramente crescente o decrescente viene considerato anche l'indicatore adimensionale Δu_i^* . In questo secondo passo si confrontano i valori di questo indicatore in relazione a valori soglia predeterminati per valutare se il livello di allerta previsto dal sistema regionale deve essere ancora una volta confermato, ovvero aumentato o diminuito (il modello integrato prevede variazioni possibili fino a due livelli di allerta).

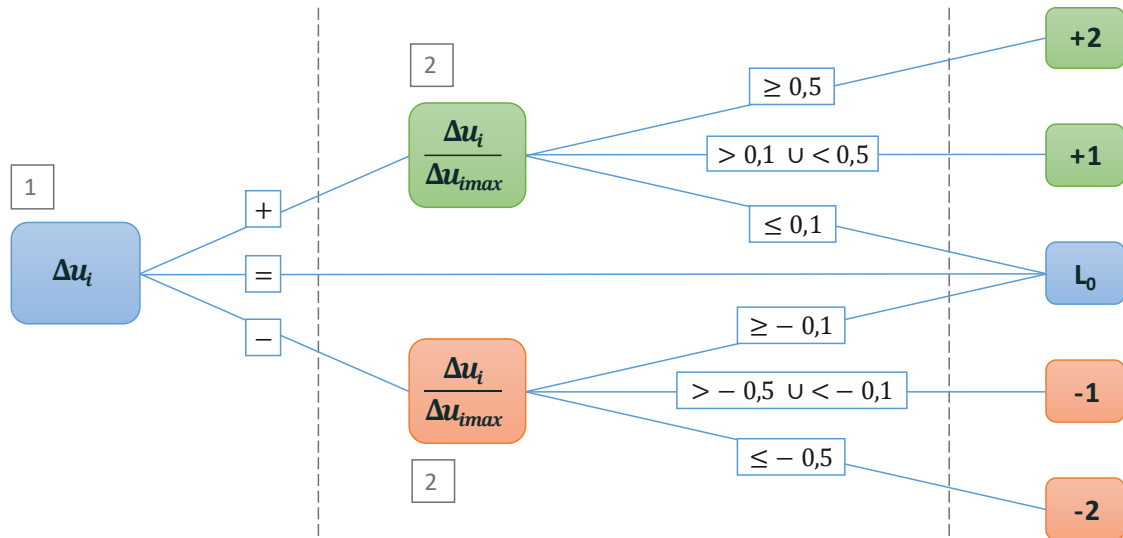


Figura 5. Schematizzazione del modello di allerta integrato che utilizza dati di monitoraggio a scala locale.

Il modello proposto è stato applicato considerando i 25 giorni di allerta previsti dal modello regionale utilizzando diversi valori di n . I risultati migliori del modello integrato si sono ottenuti quando n è pari a 14 (Fig. 6). Il confronto effettuato dimostra come l'integrazione delle informazioni ottenute dalle misure delle pressioni interstiziali consente di migliorare la prestazione del modello di allerta. Infatti, le 2 allerte corrette (righe superiori delle matrici) che erano classificate dal modello regionale come moderate (L2), diventano una grave (L3) e l'altra molto grave (L4). Inoltre, con riferimento alle false allerte (righe inferiori delle matrici), 2 delle 7 false allerte gravi vengono declassate a moderate,

mentre 11 delle 16 false allerte originariamente indicate come moderate non vengono più classificate come tali.

a)	L1	L2	L3	L4
YES	2	2	0	0
NO	1525	16	7	0

b)	L1	L2	L3	L4
YES	2	0	1	1
NO	1536	7	5	0

Figura 6. Confronto tra il modello regionale che utilizza solo dati da monitoraggio territoriale (a) e il modello integrato che utilizza anche dati di monitoraggio locale (b).

4. Conclusioni

Nella presente nota si è illustrata una metodologia volta alla combinazione di dati di monitoraggio a scala locale e territoriale in un modello di allerta integrato per frane meteo-indotte operante a scala territoriale. I risultati ottenuti per un'area di studio in Norvegia, ancorché non generalizzabili in quanto frutto di una prima preliminare applicazione della metodologia, mostrano come questa procedura consente di integrare efficacemente informazioni provenienti da sistemi di monitoraggio operanti a scala locale al fine di migliorare le prestazioni dei sistemi di allerta operanti a scala territoriale.

Bibliografia

- Beldring S, Engeland K, Roald L A, Sælthun N R, Voksø A (2003). Estimation of parameters in a distributed precipitation runoff model for Norway. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 7, 304–316. <https://doi.org/10.5194/hess-7-304-2003>.
- Boje S, Colleuille H, Cepeda J M, Devoli G (2014). Landslide thresholds at regional scale for the early warning system in Norway, Proceeding 3rd World Landslide Forum, 2–6 June 2014, Beijing.
- Calvello M (2017). Early warning strategies to cope with landslide risk. *Rivista Italiana di Geotecnica*, 2: 63-91. <https://doi.org/10.19199/2017.2.0557-1405.063>.
- Colleuille, H., Haugen, L.E., Beldring, S. (2010) A forecast analysis tool for extreme hydrological conditions in Norway. Poster presented in Sixth world FRIEND 2010, Flow Regime and International Experiment and Network Data, Fez, Morocco.
- Krøgli I K, Devoli G, Colleuille H, Sund M, Boje S, Engen I K (2018). The Norwegian forecasting and warning service for rainfall- and snowmelt-induced landslides. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 18, 1427-1450. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1427-2018>.
- NGU: Norwegian quaternary deposits map. Available at: <https://www.ngu.no/en/topic/datasets>, last access: 14 June 2018.
- NVE: Expert tool used for preparedness, monitoring and forecasting of floods, landslides and avalanches. Available at: <http://www.xgeo.no>, last access 14 June 2018.
- NVE: Landslide database. Available at: <https://temakart.nve.no/link/?link=SkredHendelser>, last access: 14 June 2018.
- NVE: Norwegian avalanche, flood and landslide hazard warnings. Available at: <http://www.varsom.no/>, last access: 14 June 2018.
- Pecoraro G, Calvello M, Piciullo L (2018). Monitoring strategies for local landslide early warning systems. Manuscript submitted for publication to *Landslides*.
- Piciullo L, Calvello M, Cepeda J M (2018). Territorial early warning systems for rainfall-induced landslides. *Earth-Sci. Rev.*, 179, 228–247, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.02.013>.
- Piciullo L, Dahl M-P, Devoli G, Colleuille H, Calvello M (2017). Adapting the EDuMaP method to test the performance of the Norwegian early warning system for weather-induced landslides. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17, 817–831. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-817-2017>.