

ALTERAZIONE DEL COMPORTAMENTO IDROLOGICO DI PIROCLASTITI LIMOSE INDOTTA DA UNA COPERTURA DI ELEMENTI COMBUSTI

Lucia Coppola

Università degli studi di Napoli "Federico II"

Lucia.coppola@unina.it

Alfredo Reder

REgional Model and geo-Hydrological Impacts-REMHI, Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici

Alfredo.reder@cmcc.it

Guido Rianna

REgional Model and geo-Hydrological Impacts-REMHI, Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici

Guido.rianna@cmcc.it

Alessandro Tarantino

University of Strathclyde, Scotland, UK

alessandro.tarantino@strath.ac.uk

Luca Pagano

Università degli studi di Napoli "Federico II"

lupagano@unina.it

Sommario

La presente nota descrive un'attività sperimentale condotta allo scopo di caratterizzare le alterazioni idrologiche generate in un sottosuolo di piroclastite limosa dalla presenza di materiale di combustione lignea prodotto da un incendio boschivo. La risposta idrologica è stata caratterizzata utilizzando un modello fisico di lisimetro, ricoprendo uno strato di piroclastiti limose, già precedentemente caratterizzato nell'evoluzione del comportamento idrologico generata dall'interazione con l'atmosfera, con materiale ottenuto dalla combustione lignea, a granulometria più grossolana. L'alterazione idrologica osservata in presenza dello strato di ricoprimento è stata dedotta dal confronto con i risultati precedentemente ottenuti in assenza di tale strato. Essa è risultata significativa e caratterizzata da notevoli incrementi di contenuto d'acqua.

1. Introduzione

Così come documentato dal database "European Forest Fire Information System – EFFIS, il fenomeno degli incendi boschivi in Europa, e, soprattutto, in Italia è in continuo incremento, rendendo sempre più incalzanti le problematiche di sicurezza associate, oltre che alla fase parossistica, anche alle fasi post-incendio. Gli aspetti che coinvolgono la sicurezza del territorio nelle fasi successive allo sviluppo del fenomeno sono molteplici, così come lo sono le tematiche che andrebbero affrontate ed approfondite attraverso l'attività di ricerca. Lo sviluppo di nuove conoscenze è sicuramente necessario per una più accurata valutazione della stabilità del territorio, laddove il fenomeno coinvolge zone caratterizzate da forti pendenze. Le alte temperature e i prodotti della combustione alterano infatti le proprietà meccaniche e idrologiche dei terreni e modificano dunque la risposta del sistema pendio, a causa dell'attivazione di processi ancora non del tutto chiariti (Rengers et al., 2020). La letteratura sul

tema è tutt'altro che abbondante ed è per lo più orientata ad evidenziare come nei territori colpiti si accentuino i fenomeni erosivi nei mesi postumi al fenomeno (e.g., Letey 2001), causati da una riduzione del potenziale di infiltrazione del sottosuolo, e come spesso si osservi un incremento di suscettibilità da frana per periodi abbastanza più lunghi (e.g., Meyer et al., 2001). Per ciò che concerne la suscettibilità da frana, diversi sono i processi che, attivati dalla combustione, possono influenzare negativamente le condizioni di stabilità di un versante. Sotto il profilo meccanico, l'incendio innesca il progressivo deterioramento, fino alla sparizione, degli apparati radicali della vegetazione combusta, che, come noto, forniscono un apporto stabilizzante. Si tratta tuttavia di processo abbastanza lento, il cui effettivo impatto può a volte risultare parzialmente o completamente compensato dalla rigenerazione vegetale che si produce spontaneamente nel periodo successivo all'incendio, attraverso la sostituzione degli apparati radicali combusti con quelli della nuova vegetazione. Sotto il profilo idrologico, contestualmente all'incendio si verifica l'alterazione di alcuni fattori fondamentali. La scomparsa della vegetazione annulla la quota parte di precipitazione intercettata dal fogliame e disattiva i processi traspirativi che generano flussi d'acqua in uscita dal sottosuolo, stimati fino al 50% delle precipitazioni totali. Nel periodo post-incendio i processi evaporativi continuano a verificarsi, ma solo come flussi da suolo nudo, sicuramente meno efficaci nel determinare la desaturazione del sottosuolo durante le fasi secche (Helvey 1980). La combustione causa anche un'alterazione della risposta idrologica del sottosuolo dal momento che essa produce sul piano campagna pre-incendio uno strato costituito da elementi combusti di dimensione variabile (nel seguito indicato col termine SEC). I lavori di letteratura disponibili sono inerenti per lo più alla composizione chimica (Bennett et al., 2004) e mineralogica (Quintana et al., 2007) del SEC, mentre quelli finalizzati alla caratterizzazione fisica ed idrologica sono in numero ridotto (e.g., Balfour & Woods, 2013). Nessuno studio è mai stato condotto per caratterizzare sperimentalmente l'alterazione che il SEC determina sull'interazione sottosuolo-atmosfera. La presente nota ha come obiettivo la caratterizzazione sperimentale del SEC e gli effetti che esso induce sull'interazione sottosuolo-atmosfera. Come sottosuolo di riferimento per lo studio dell'interazione è stata assunta una piroclastite limosa, ed è stata condotta un'attività sperimentale nella quale in un modello fisico di lisimetro, uno strato di piroclastite limosa, ricoperto da un SEC, è stato esposto all'atmosfera per due anni idrologici. Il modello fisico è stato approntato come modifica di un modello di lisimetro già operativo da diversi anni. Esso, costituito dal solo strato di piroclastite limosa, è stato esposto all'atmosfera dapprima in condizioni di suolo nudo e, successivamente, in condizioni di suolo vegetato. In questo modo è stato possibile confrontare il comportamento idrologico osservato in presenza di SEC con quello osservato in precedenza, al fine di valutare l'alterazione indotta.

2. Apparecchiature sperimentali e materiali

2.1 Modello fisico di lisimetro

Il modello fisico di lisimetro è costituito da un cassone in compensato marino esposto all'atmosfera per diversi anni, contenente un volume di circa 1 m³ di piroclastite limosa (PL), strumentata per il monitoraggio delle variabili idrologiche e termiche. Nel corso dei primi quattro anni idrologici di sperimentazione la superficie dello strato è stata mantenuta priva di vegetazione, al fine di caratterizzare l'interazione terreno-atmosfera in condizioni di suolo nudo (Rianna et al., 2014b). Alla fine del quarto anno la superficie è stata vegetata seminando una graminacea, e nei successivi cinque anni la sperimentazione è stata condotta in condizioni vegetate, con l'obiettivo di caratterizzare l'interazione terreno-atmosfera sotto l'azione di fenomeni evapotraspirativi (Pagano et al., 2019). Nel febbraio 2020 la copertura vegetale è stata rimossa e sostituita da un SEC di spessore 5 cm, posto in opera al di sopra dello strato di piroclastite limosa (Fig. 1a) con la tecnica della deposizione aerea.

Il SEC adottato è costituito da materiale ottenuto dalla combustione non in loco di legno di corbezzolo, condotta a temperature superiori a 350°C. Prima della deposizione il materiale è stato dapprima raffreddato e poi essiccato in forno. La Figura 1b riporta in confronto le distribuzioni granulometriche della PL e del SEC. La PL è un limo con sabbia, mentre il SEC è equivalente a una sabbia con ghiaia limosa. Lo strato di PL è abbondantemente strumentato per l'osservazione a diverse profondità delle variabili idrologiche e termiche. In particolare, sono state eseguite misure di suzione a mezzo di tensiometri (15, 30, 50 e 70 cm); di suzione a mezzo di sonde di dissipazione (5, 15, 50 e 70 cm); di contenuto volumetrico, a mezzo di 4 sonde TDR (15, 30, 50 e 70 cm); di temperatura del terreno mediante termistori (5, 15, 50 e 70 cm). Le profondità riportate in parentesi sono considerate a partire dalla superficie dello strato di PL. Sono stati inoltre misurati il peso del lisimetro a mezzo di tre celle di carico e le variabili atmosferiche a mezzo di una stazione meteo.

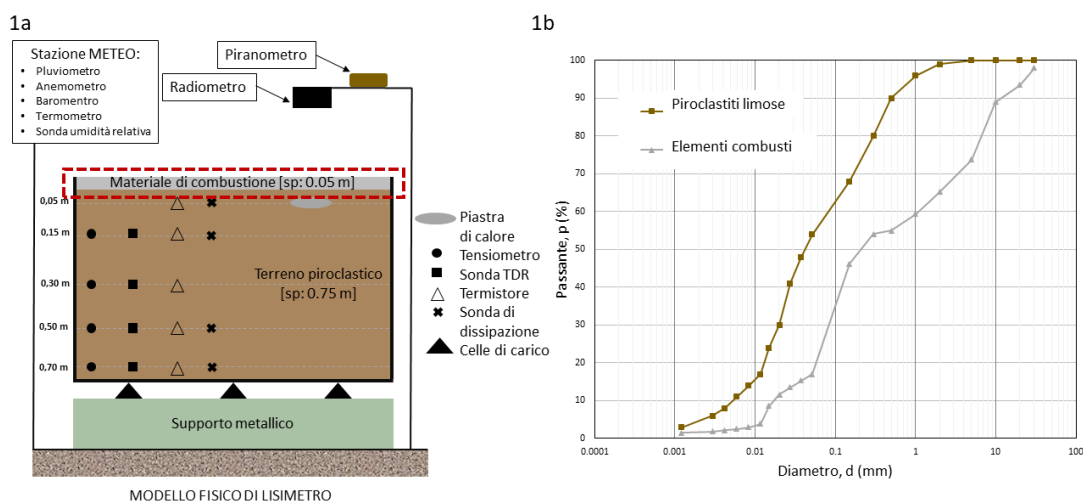


Fig 1. a) rappresentazione schematica del modello fisico di lisimetro nella configurazione attuale; b) confronto tra le curve granulometriche dei due materiali sovrapposti.

2.2 Proprietà idrauliche e termiche

La proprietà idrauliche e termiche dei due materiali posti in sequenza sono state caratterizzate sperimentalmente ricavando la curva di ritenzione idrica, la funzione di permeabilità, la curva di capacità volumetrica del calore e la funzione di conducibilità termica. Le proprietà del PL erano state precedentemente misurate (Reder et al, 2018). Per ciò che concerne il SEC, il coefficiente di conducibilità idraulica in condizioni sature è stato misurato a mezzo di prove in permeametro a carico idraulico costante. La curva di ritenzione idrica è stata ricavata sullo stesso provino testato in permeametro, strumentandolo al termine della prova in permeametro con tensiometri tipo small-tip e sottoponendolo a cicli di evaporazione naturale. Dalle misure contestuali di suzione e variazioni di peso in condizioni di equilibrio è stato possibile ricostruire la relazione tra suzione e contenuto volumetrico d'acqua. La Figura 2a confronta le curve di ritenzione idrica dei materiali PL e SEC. La funzione di permeabilità del SEC è stata ricavata riproducendo, in un processo di back-analysis, le osservazioni acquisite durante il monitoraggio del modello fisico di lisimetro, con il modello termo-idraulico accoppiato formulato da Wilson (1994). La Figura 2b riporta in confronto le funzioni di permeabilità. Si può notare come in condizioni di completa saturazione il valore di conducibilità idraulica del SEC risulti di quasi due ordini di grandezza maggiore rispetto a quello del PL. I gradienti di decrescita delle due conducibilità idrauliche al decrescere del grado di saturazione risultano tuttavia diversi e, in particolare, molto più accentuati nel SEC, coerentemente con la distribuzione granulometrica più grossolana. Per ciò che concerne le proprietà termiche del SEC, la capacità volumetrica di calore è stata quantificata sommando la capacità volumetrica delle componenti solida e liquida, in accordo al modello proposto da de Vries (1963). La Figura 3a mostra la curva ottenuta

considerando per la matrice solida una percentuale volumetrica pari al 20% ed un calore specifico pari a $2.41 \text{ MJ/m}^3\text{K}$ (Waples et al., 2004), confrontata con la curva di capacità volumetrica del materiale PL. La curva di conducibilità termica (Fig. 3b) è stata caratterizzata seguendo una procedura sperimentale basata, da un lato, sulla disponibilità di misure eseguite a mezzo di sonda di dissipazione termica per valori noti di contenuto d'acqua e, dall'altro, sulla relazione tra conducibilità termica e variazioni di temperatura indotte dall'energizzazione della sonda fornita da Shiozawa & Campbell (1990). La Figura 3b confronta le funzioni termiche dei due materiali. La conducibilità termica del SEC risulta maggiore rispetto a quella del PL. Si evidenzia tuttavia come la propensione di uno strato nel trasmettere calore agli strati contigui è comunque bassa se esso, a dispetto della sua alta conducibilità, possiede elevata capacità volumetrica del calore, ovvero spiccata inclinazione ad immagazzinare calore al suo interno. Poiché SEC presenta una capacità termica maggiore rispetto al PL, esso ha dunque scarsa propensione a trasmettere ad esso calore.

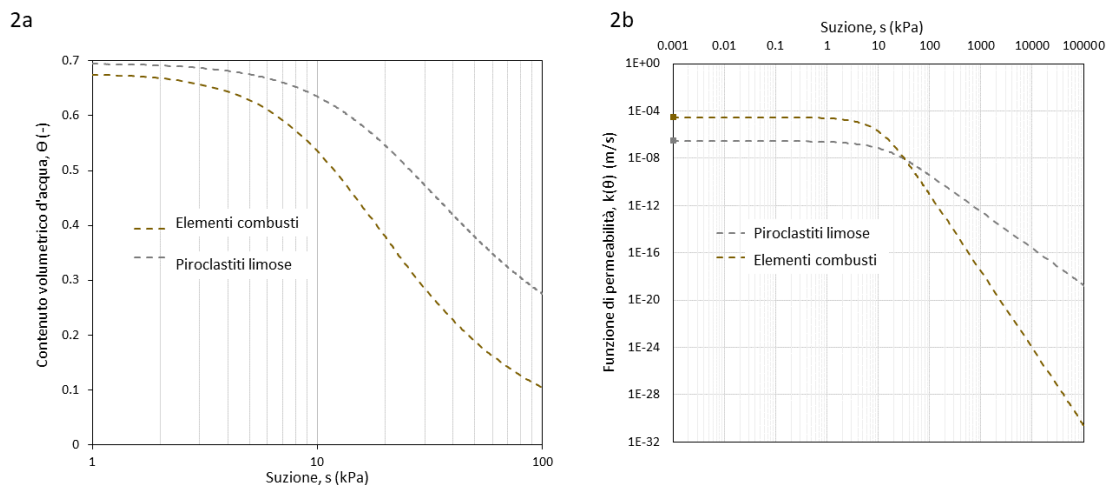


Fig 2. Confronto tra a) le curve di ritenzione idrica e b) le funzioni di permeabilità dei materiali utilizzati per la sperimentazione.

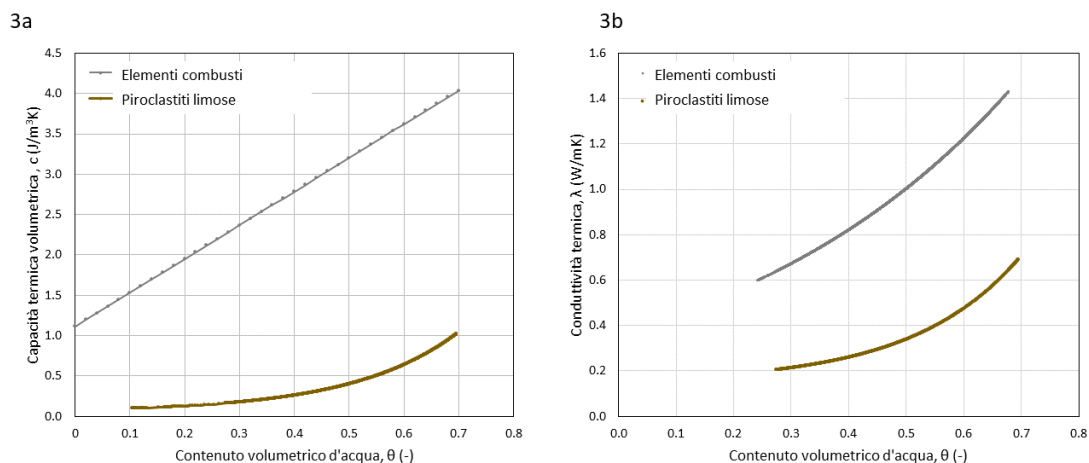


Fig 3. Confronto tra a) le funzioni di capacità termica volumetrica e b) le funzioni di conducibilità termica dei materiali utilizzati per la sperimentazione.

3. Risultati monitoraggio

3.1 Evoluzioni di contenuto d'acqua

La Figura 4 riporta l'evoluzione del contenuto volumetrico d'acqua medio del sistema complessivo costituito dai due strati, PL e SEC (curva grigia) come prosecuzione delle due evoluzioni registrate

Coppola L., Reder A., Rianna G., Tarantino A., Pagano L.

negli anni addietro in condizioni di suolo nudo (curva marrone) e in condizioni di suolo vegetato (curva verde). Si può osservare come nella nuova configurazione (linea grigia) il contenuto d'acqua si allinei ai massimi precedentemente osservati nelle configurazioni differenti. Al contrario, esso risulta molto più alto nei periodi secchi. Si può dedurre che il SEC, dunque, non attenua i flussi in entrata generati dalle precipitazioni, ma limita in modo significativo i processi evaporativi. Ne consegue che la presenza di un SEC genera livelli di contenuto d'acqua ad inizio anno idrologico ben maggiori rispetto quelli che si avrebbero in sua assenza.

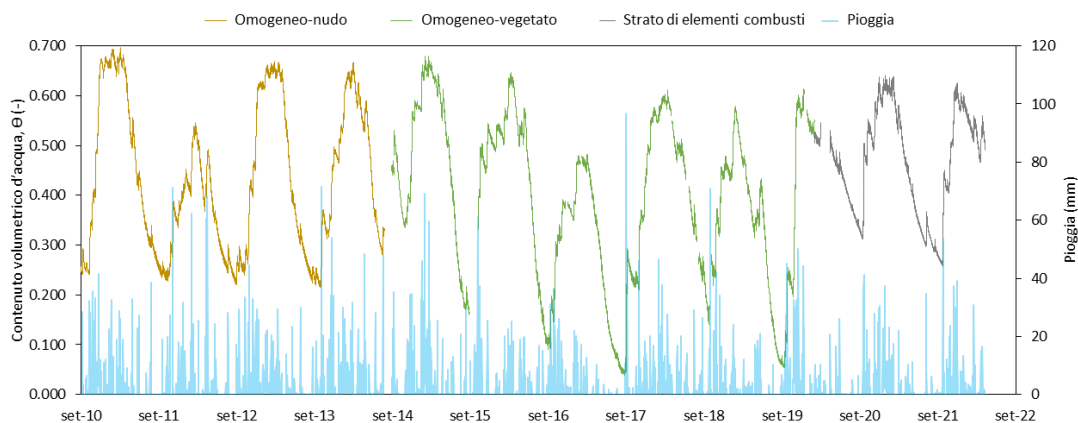


Fig 4. Evoluzione del contenuto volumetrico d'acqua immagazzinato dal modello fisico per tutta l'attività di esercizio: condizione di suolo omogeneo-nudo (curva marrone), condizione di suolo omogeneo-vegetato (curva verde), presenza dello strato di SEC (curva grigia).

3.2 Evoluzioni di temperatura

La Figura 5 riporta con una risoluzione di 15 minuti le evoluzioni giornaliere di temperatura misurate a 15 cm e 5 cm di profondità dall'interfaccia SEC-PL. Esse si riferiscono ai mesi più caldi dell'anno (giugno, luglio ed agosto), allorché l'esaltazione dei fenomeni evaporativi si traduce in forti differenze di contenuto d'acqua tra le tre diverse configurazioni del sistema. Il confronto è proposto tra le misure acquisite nel corso della seconda stagione (configurazione di suolo omogeneo-nudo), la sesta stagione (configurazione di suolo omogeneo-vegetato) e, infine, l'undicesima stagione (presenza del SEC). Le tre stagioni sono state selezionate in quanto abbastanza simili sotto il profilo delle evoluzioni di temperatura atmosferica. Si può osservare che mentre alla profondità di 15 cm le oscillazioni di temperatura registrate nei tre casi risultano simili, a 5 cm le oscillazioni registrate in presenza di SEC risultano molto più contenute rispetto agli altri due casi, con picchi significativamente smussati. Si può allora ragionevolmente dedurre che il SEC rappresenti per il PL una barriera termica, in grado di attenuare i picchi di energia notoriamente responsabili dell'esaltazione dei processi evaporativi. Peraltro, in ragione della granulometria più grossolana e della conseguente minore conducibilità idraulica in condizioni non sature (Figura 2b), il SEC rappresenta anche una barriera idraulica, che impedisce alla fase liquida presente nella PL di raggiungere la superficie a contatto con l'atmosfera. I due effetti combinati del SEC, che in sintesi possiamo definire di barriera termo-idraulica, inibiscono significativamente i processi evaporativi incrementando il contenuto d'acqua nello strato PL.

4. Conclusioni

Un esperimento condotto attraverso un modello fisico di lisimetro ed un'adeguata caratterizzazione sperimentale delle proprietà idrauliche e termiche hanno consentito di comprendere gli effetti esercitati da uno strato composto da elementi di combustione del legno sulla risposta idrologica di un sottostante strato di piroclastite limosa. Si è in particolare evidenziato come l'alterazione dell'interazione con l'atmosfera risulti significativa, comportando l'inibizione parziale dei processi evaporativi a parità di

volumi d'acqua di infiltrazione e livelli di contenuto d'acqua, di conseguenza, maggiori alla fine del periodo secco.

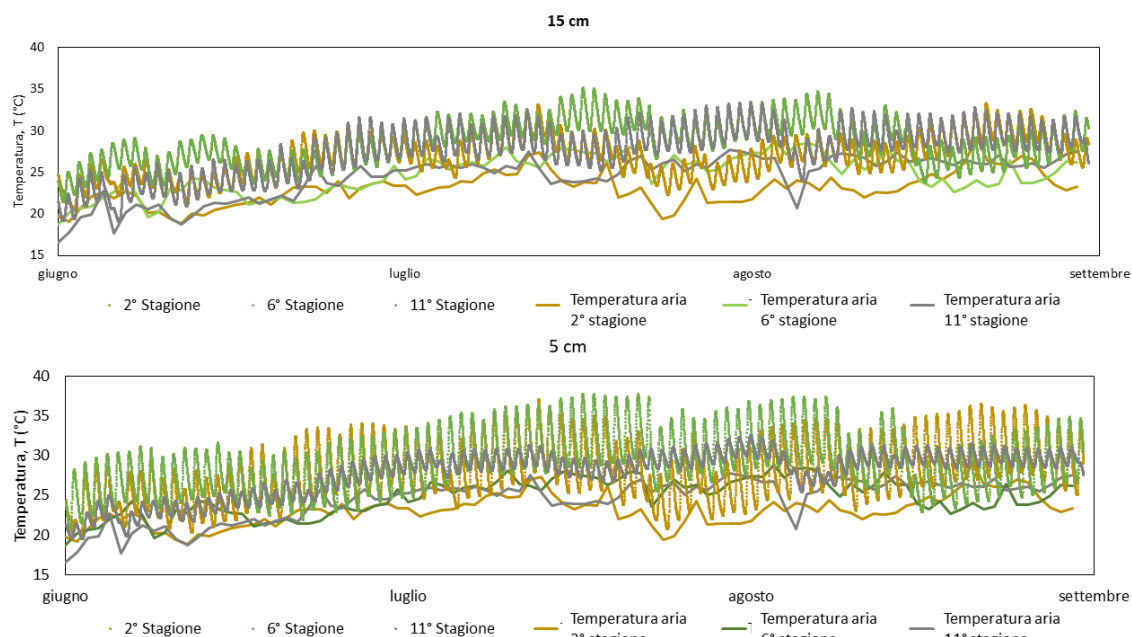


Fig 5. Evoluzioni della temperatura del terreno registrata alle profondità di 15 e 5 cm, confrontate con l'evoluzione della temperatura dell'aria, per i mesi di giugno, luglio e agosto, della seconda, sesta e undicesima stagione.

Bibliografia

- Balfour, V. N., & Woods, S. W. (2013). The hydrological properties and the effects of hydration on vegetative ash from the Northern Rockies, USA. *Catena*, 111, 9-24.
- Bennett, D., Angove, M. J., Wells, J. D., Johnson, B. B., & Baldwin, D. (2004). Characterisation of bushfire residues and their leachates. *SuperSoil*, 2004, 3rd.
- de Vries DA (1963). Thermal properties of soils. In W. R. Wijk, *Physics of Plant Enviroment* (p. 382). North Holland Pub. Co.
- Helvey, J. D. (1980). Effects of a North Central Washington wildfire on runoff and sediment production 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 16(4), 627-634.
- Letey, J. (2001). Causes and consequences of fire-induced soil water repellency. *Hydrological Processes*, 15(15), 2867-2875.
- Meyer, G. A., Pierce, J. L., Wood, S. H., & Jull, A. J. T. (2001). Fire, storms, and erosional events in the Idaho batholith. *Hydrological processes*, 15(15), 3025-3038.
- Pagano, L., Reder, A., & Rianna, G. (2019). Effects of vegetation on hydrological response of silty volcanic covers. *Canadian Geotechnical Journal*, 56(9), 1261-1277.
- Quintana, J. R., Cala, V., Moreno, A. M., & Parra, J. G. (2007). Effect of heating on mineral components of the soil organic horizon from a Spanish juniper (*Juniperus thurifera* L.) woodland. *Journal of arid environments*, 71(1), 45-56.
- Reder, A., Rianna, G., & Pagano, L. (2018). Physically based approaches incorporating evaporation for early warning predictions of rainfall-induced landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(2), 613-631.
- Rengers, F. K., McGuire, L. A., Oakley, N. S., Kean, J. W., Staley, D. M., & Tang, H. (2020). Landslides after wildfire: Initiation, magnitude, and mobility. *Landslides*, 17(11), 2631-2641.
- Rianna, G., Pagano, L., & Urciuoli, G. (2014b). Investigation of soil-atmosphere interaction in pyroclastic soils. *Journal of hydrology*, 510, 480-492.
- Shiozawa, S., & Campbell, G. S. (1990). Soil thermal conductivity. *Remote Sensing Reviews*, 5(1), 301-310.
- Waples, D. W., & Waples, J. S. (2004). A review and evaluation of specific heat capacities of rocks, minerals, and subsurface fluids. Part 1: Minerals and nonporous rocks. *Natural resources research*, 13(2), 97-122.
- Wilson GW (1990). Evaporation from Bare Soil Surfaces. Tesi di dottorato, University of Sas-katchewan, Saskatoon, Canada.