

MARCELLO PAGLIAI¹

L'impatto sul suolo degli incendi boschivi

¹ Accademia dei Georgofili

INTRODUZIONE

Sono ancora ben impresse nella mente le immagini trasmesse dai mezzi di comunicazione di massa circa i drammatici incendi dell'estate scorsa che hanno devastato il patrimonio forestale in vaste aree del nostro Paese. Purtroppo, queste scene si ripetono anno dopo anno con un aumento impressionante. Sono ormai a tutti noti i danni provocati all'ambiente da questi incendi a cui, purtroppo, seguono irrimediabilmente forti perdite di suolo per erosione.

Fra le principali cause di degradazione dei suoli forestali è del tutto evidente, infatti, che gli incendi rappresentano i più rilevanti sistemi di degradazione la cui conseguenza, fra l'altro, è l'insorgere di fenomeni di erosione idrica, diffusa e incanalata, costituendo una forte minaccia rispetto alla funzione di protezione idrologica. Il passaggio di incendi, oltre che innescare fenomeni erosivi, causa forti alterazioni anche delle proprietà chimiche dei suoli, in particolare sulla sostanza organica e delle proprietà biologiche, in quanto distrugge gli esseri viventi alla superficie del suolo, alterando fortemente l'attività microbica.

I fenomeni erosivi dopo il passaggio di incendi sono drammaticamente aumentati anche in virtù dei cambiamenti climatici in atto che si manifestano con impressionante frequenza sotto forma di eventi estremi quali i violentissimi nubifragi. Ci sono scarsi studi che quantificano l'entità del suolo perso per erosione, tuttavia, nella letteratura scientifica internazionale si attribuisce proprio a questi eventi estremi, dopo il passaggio di incendi, l'alta perdita di suolo, acqua e nutrienti nelle foreste dell'area mediterranea (Inbar et al., 1998; Shakesby, 2011; Francos et al., 2016).

GLI EFFETTI SUL SUOLO DEL PASSAGGIO DEL FUOCO

Il suolo forestale viene modificato fortemente e rapidamente dal passaggio del fuoco e le modificazioni vengono indotte essenzialmente da due fattori e cioè dalle temperature raggiunte durante l'incendio e dalla formazione di ceneri. Questi due effetti sono pressoché concomitanti per cui diventa difficile quantificare il loro effetto individuale nell'indurre i cambiamenti delle proprietà del suolo. Tali modificazioni si verificano simultaneamente al passaggio del fuoco.

LE REAZIONI TERMICHE DEL SUOLO

Le modificazioni indotte nel suolo dal passaggio del fuoco avvengono gradualmente con l'aumento raggiunto dalle temperature. All'inizio dell'incendio si raggiungono picchi fino a 170°C che provocano una prima disidratazione del materiale superficiale del suolo. Fra 170°C e 220°C si ha la disidratazione della sostanza organica. Fra 220°C e 460°C si ha la combustione della sostanza organica e, di conseguenza, la distruzione dell'attività biologica. Questa reazione termica causa la trasformazione e la riorganizzazione degli ossidi di ferro e alluminio. Fra 460°C e 700°C si ha la perdita dei gruppi OH dall'argilla. Fra 700°C e 900°C si ha la decomposizione dei carbonati.

IMPATTO DEL FUOCO SULLE PROPRIETÀ FISICHE E CHIMICHE DEL SUOLO

L'aumento delle temperature cioè del calore che si sviluppa durante l'incendio induce modificazioni della porosità del suolo. Nei suoli argillosi la porosità aumenta progressivamente fino a 460°C, dopodiché diminuisce fortemente in seguito alla perdita dei gruppi OH delle argille e alla distruzione dei carbonati. Nei suoli sabbiosi, invece, la porosità diminuisce progressivamente con l'aumentare dei picchi di temperatura. Di conseguenza, dopo il passaggio di un incendio si ha un aumento della densità apparente.

Dopo raggiunto il picco dei 220°C si manifestano variazioni di tessitura, in quanto aumenta la frazione sabbiosa mentre diminuisce la frazione argillosa; la frazione limosa rimane pressoché inalterata. Queste variazioni sono più pronunciate nei suoli argillosi in quanto si ha la fusione delle particelle argillose che acquistano quindi le dimensioni della sabbia; a ciò contribuisce anche la calcitazione in cui sono coinvolti gli ossidi di ferro e gli alluminosilicati.

Nonostante la combustione della sostanza organica durante l'incendio, l'indice di stabilità degli aggregati aumenta a causa della riorganizzazione e

ricristallizzazione degli ossidi di ferro e alluminio contribuendo così all'aumento della resistenza degli aggregati; durante il passaggio del fuoco, dove si raggiungono notevoli picchi di calore, il suolo sembra subire una sorta di laterizzazione.

Per quanto riguarda le proprietà chimiche da segnalare che il calore prodotto dal passaggio del fuoco causa una diminuzione del pH fino a temperature di 460°C ma il successivo aumento delle temperature provoca un aumento addirittura da 4 a 5 unità quando la temperatura supera 700°C. La causa dell'iniziale diminuzione può essere attribuita all'ossidazione di alcuni elementi e alla disidratazione dei colloidali che perderebbero così il loro potere tampone. Il repentino aumento alle alte temperature è senz'altro dovuto alla perdita di OH da parte delle argille e alla formazione di ossidi derivanti dalla decomposizione dei carbonati.

La capacità di scambio cationico diminuisce con l'aumentare delle temperature raggiunte. L'aggregazione delle particelle fini causate dall'aumento del calore, la disidratazione delle particelle colloidali e la combustione della sostanza organica sono le cause principali di tale diminuzione.

Ovviamente, la combustione della sostanza organica in seguito all'aumento delle temperature ne causa la diminuzione del suo contenuto nel suolo. Lo stesso andamento lo riscontriamo per le forme azotate di cui una buona parte vengono perse per volatilizzazione. Si sottolinea ancora che alla combustione della sostanza organica si associa la distruzione di tutti gli organismi viventi e quindi la scomparsa dell'attività biologica e, soprattutto, di quella microbica.

L'aumento del calore provoca anche la mineralizzazione del fosforo organico che scompare totalmente sopra temperature di 460°C; per contro si riscontra un aumento del fosforo inorganico. I processi di mineralizzazione del fosforo organico contribuiscono a far aumentare quello assimilabile.

CENERI

Le ceneri rappresentano il materiale rimanente dopo il passaggio del fuoco e quindi della bruciatura della vegetazione fresca e della lettiera secca. L'ammontare della loro deposizione dipende dal peso e dalla distribuzione spaziale della vegetazione, nonché dal grado di combustione e dal seguente trasporto dei residui bruciati.

La quantità di ceneri varia dal 2-9% per il legno a 13-20% per le essenze erbacee. Le proprietà delle ceneri dipendono dal grado di combustione dei materiali e quindi anche dalla velocità del passaggio del fronte dell'incendio. Le alte temperature si raggiungono, ovviamente, quando il fronte avanza len-

tamente. Se la combustione non è completa le ceneri sono di colore scuro perché contengono ancora residui di sostanza organica e materiale carbonizzato. Quando la combustione è completa le ceneri sono grigio-chiare e la loro composizione è quasi esclusivamente minerale.

Le ceneri residue contengono essenzialmente carbonati di metalli alcalini e alcalino-terrosi con contenuti variabili di silice, sesquiossidi, fosfati e piccole quantità di azoto inorganico e organico. Tuttavia, la composizione delle ceneri presenta grande variabilità. Secondo dati dalla letteratura corrente (Giovannini, 2012) l'N può variare da 0,03 a 1,5%, il contenuto di P da 0,03 a 3,0%, quello di K da 0,3 a 20%, il Ca da 2,5 a 25% e il Mg da 1,5 a 15%.

In generale, durante il passaggio del fuoco molti composti organici sono bruciati e dispersi nell'aria. Dall'altra parte, molti cationi precedentemente legati alla sostanza organica sono resi solubili e immediatamente disponibili per le piante. Se compariamo la degradazione biologica dei resti delle piante con la degradazione causate dal fuoco si può constatare che la bruciatura rende i nutrienti immediatamente disponibili per le piante. Un alto contenuto di nutrienti assimilabili può persistere in superficie dopo la deposizione delle ceneri, se non intervengono fenomeni erosivi post-incendio.

PASSAGGIO DEL FUOCO E FORMAZIONI DI STRATI DI IDROREPELLENZA

Gli strati superficiali del suolo forestale mostrano molto spesso un rallentamento del processo di assorbimento dell'acqua, e in alcuni casi appaiono idrorepellenti. È noto che la sostanza organica può avere una duplice azione e cioè quella di assorbire acqua, ma talvolta ha anche proprietà idrofobiche che limitano l'infiltrazione dell'acqua.

L'idrorepellenza può essere attribuita a diverse sostanze come, ad esempio, gli oli essenziali derivanti dalla vegetazione xerofitica, acidi grassi legati a calcio e magnesio, sostanze derivanti dalla decomposizione di sostanza organica fresca, acidi umici, idrocarburi alifatici e prodotti microbici di basidiomiceti o funghi.

Quando si verifica un incendio, la lettiera e lo strato superficiale del suolo sono esposti a un riscaldamento molto intenso in grado di distruggere la materia organica del suolo che in parte evapora e viene consumata dal fuoco nella fiamma mentre un'altra parte diventa sempre più fluida e costretta a migrare verso il basso lungo il gradiente di temperatura sviluppato lungo il profilo del suolo fino a incontrare particelle di terreno più fredde dove si condensa e si cementa formando un nuovo strato di sostanze idrofobiche (fig. 1).

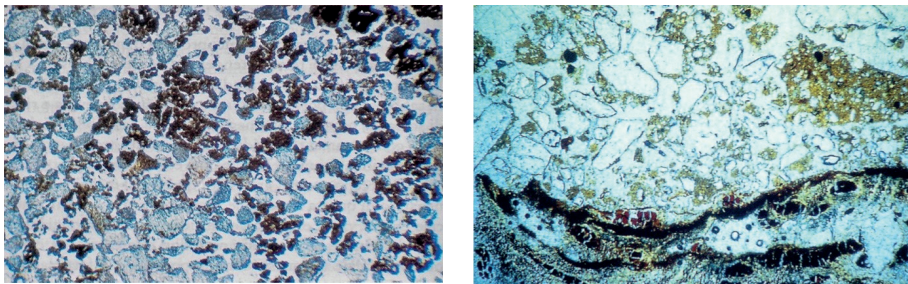


Fig. 1 Queste foto rappresentano proprio microfotografie di sezioni sottili verticalmente orientate, preparate da campioni indisturbati prelevati nello strato superficiale (0-5 cm) di un suolo forestale sabbioso. A sinistra il suolo in condizioni normali in cui le parti scure rappresentano la sostanza organica e le parti trasparenti i pori; a destra dopo il passaggio di un incendio in cui sono evidenti gli strati di colore nero di sostanza organica "carbonizzata"

Dopo l'incendio può essere presente, quindi, uno strato idrorepellente al di sotto e parallelo alla superficie del terreno nella zona bruciata (Certini, 2005; Giovannini et al., 1998). Questa situazione è molto pericolosa in termini di erosione del suolo in particolare nei terreni in forte pendenza: infatti la disposizione stratificata consente alla pioggia di infiltrarsi a una profondità limitata prima che il fronte bagnante raggiunga lo strato idrorepellente. Quando l'infiltrazione d'acqua viene impedita o temporaneamente rallentata, il sottile strato di terreno bagnabile si satura e l'acqua è costretta quindi a defluire lateralmente. Il deflusso superficiale fornisce la forza mobile per l'erosione del suolo e l'acqua che scorre rimuove le particelle di terreno dallo strato bagnabile superiore con una parte dello strato idrorepellente sottostante.

Questo meccanismo spiega l'innescare delle varie forme di erosione che si trovano comunemente nel suolo interessato dal passaggio del fuoco, da quella laminare, a rivoli, a burroni, fino ai movimenti di massa.

EROSIONE DEL SUOLO

L'erosione idrica, diffusa e incanalata, in seguito agli incendi forestali rappresenta il più rilevante sistema di degradazione del suolo forestale anche perché anno dopo anno assistiamo a un preoccupante aumento degli incendi boschivi non solo in Italia e in tutta l'area Mediterranea ma anche in vaste aree del mondo, complici anche i cambiamenti climatici in atto che, oltre a eventi estremi quali le piogge torrenziali, causano anche sempre più frequenti e lunghi periodi di siccità con riflessi tangibili sulla salute dei boschi tanto da

favorire il diffondersi degli incendi e rendere estremamente difficoltoso il loro controllo.

Sempre a causa dei cambiamenti climatici, questi lunghi periodi di siccità sono interrotti da violenti nubifragi che, quando si abbattano sulle pendici forestali interessate da incendi, causano forme di erosione talvolta catastrofiche non solo perché si abbattano su un suolo privo della copertura vegetale e quindi esposto alla violenta azione battente delle piogge ma anche in conseguenza del fatto che il passaggio del fuoco ha deteriorato pesantemente le qualità del suolo, ha drasticamente ridotto la sua capacità di accettazione delle piogge a causa proprio della formazione degli strati idrofobici di cui sopra, rendendolo ancora più vulnerabile all'erosione.

Così, è ampiamente dimostrato nella letteratura internazionale (Shakesby, 2011; Francos et al., 2016) che dopo un incendio boschivo assistiamo sempre a fenomeni erosivi a cominciare dall'erosione laminare diffusa nelle pendici più lievi per arrivare poi all'erosione a rivoli, all'erosione a burroni fino ad arrivare ai catastrofici movimenti di massa con l'aumentare delle pendenze. Tali fenomeni di erosione sono estremamente devastanti non solo per gli ecosistemi forestali ma anche per l'equilibrio fra questi e le interfacce con le aree urbane. Tutto questo impone una corretta previsione dell'erosione del suolo post incendio al fine di mettere in atto opere che nell'immediato siano in grado di regimare le acque superficiali in modo da attenuarne il più possibile gli effetti catastrofici; a questo sarebbe estremamente importante associare progetti di messa in sicurezza preventiva del territorio.

UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (USLE)

Il problema di stimare l'erosione del suolo è tutt'altro che semplice e prevede una complessità di procedure che richiedono continui riferimenti. Nel 1965 Wischmeier e Smith proposero la "Universal Soil Loss Equation (USLE)" per stimare le perdite di suolo per erosione. Nonostante i numerosi aggiustamenti, semplificazioni e modificazioni l'USLE continua ad essere il principale punto di riferimento per la stima dell'erosione del suolo.

L'USLE nella sua originale struttura può essere rappresentata come sequenza moltiplicativa dei seguenti fattori:

$$A=R\cdot K\cdot C\cdot L\cdot S\cdot P$$

dove

- A = quantità di suolo erosa annualmente per unità di superficie;
- R = fattore di pioggia (aggressività delle piogge: si calcola che negli ultimi vent'anni sia aumentata di 10 volte), cioè la capacità dell'impatto della pioggia di distruggere gli aggregati superficiali e di trasportare le particelle disperse;
- K = erodibilità del suolo. È una caratteristica del suolo che rappresenta la suscettibilità alla rottura degli aggregati e al successivo trasporto delle particelle da parte dell'acqua;
- C = copertura vegetale e tecniche colturali;
- L = lunghezza del versante;
- S = pendenza del versante;
- P = tecniche sistematorie. Influenza di eventuali pratiche di controllo dell'erosione.

La risposta del suolo ai processi erosivi è complessa ed è influenzata dalle proprietà del suolo stesso, come la tessitura, la stabilità strutturale, il contenuto di sostanza organica, i minerali argillosi e i costituenti chimici. Comunque, la tessitura è importante nel determinare l'erodibilità (tab. 1).

TESSITURA	SUSCETTIBILITÀ ALL'EROSIONE
Sabbiosi	1 (bassa)
Franco sabbiosi	2
Argillosi, Limoso argillosi, Sabbioso argillosi	3
Franco sabbioso argillosi, Franco limoso argillosi, Franco argillosi	4
Limosi, Franco limosi, Franchi	5 (alta)

Tab. 1 *Erodibilità del suolo. Suscettibilità all'erosione delle classi tessiturali*

COMPATTAMENTO

Come già sottolineato, l'erosione idrica, diffusa e incanalata, in seguito agli incendi boschivi rappresenta il più rilevante sistema di degradazione del suolo forestale ma purtroppo lo è anche quando il bosco non è interessato da incendio. Ad esempio, proprio per contrastare l'effetto del diffondersi del fuoco e agevolarne il controllo si realizzano le "cesse" tagliafuoco con lo scopo, appunto, di interrompere la continuità della vegetazione e quindi di frenare l'avanzata del fronte di incendio e molo spesso si realizzano secondo le linee di massima pendenza favorendo così l'insorgere di fenomeni erosivi.

Un'altra causa che, purtroppo, favorisce e incrementa l'erosione dei suoli forestali è rappresentata dal traffico di macchine sempre più pesanti e potenti per la gestione del bosco.

Nella figura 2 è riportato un esempio di danno prodotto in termini di porosità nelle aree interessate dal passaggio di macchine operatrici per le operazioni di gestione del bosco in un suolo sabbioso. Nelle aree compattate la porosità, rappresentata dai pori maggiori di 50 micron di diametro equivalente misurati mediante analisi di immagine su sezioni sottili preparate da campioni indisturbati, scende sotto il valore del 10% indicato come limite per definire un suolo degradato (Pagliai, 1988). Tale diminuzione non si limita solo allo strato superficiale ma interessa anche gli strati sottostanti. Il compattamento, sia in suoli agricoli che forestali, non solo riduce drasticamente la porosità ma modifica anche l'arrangiamento del sistema dei pori. Infatti, la proporzione dei pori allungati di trasmissione, utili per i movimenti dell'acqua e la crescita delle radici (Pagliai et al., 2003), subisce una drastica riduzione nei suoli compattati.

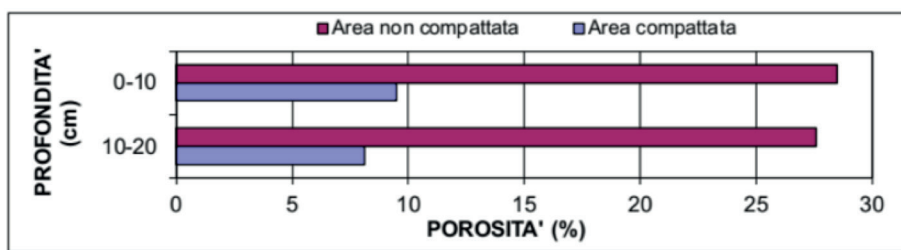


Fig. 2 *Effetto del compattamento, causato dal passaggio di un trattore, sulla porosità di un suolo forestale sabbioso espressa come percentuale dell'area occupata dai pori maggiori di 50 micron per sezione sottile*

Il compattamento è una delle cause principali e, purtroppo, colpevolmente sottovalutato, della degradazione sia dei suoli agricoli, sia forestali, in virtù, soprattutto, dell'impiego di macchine operatrici sempre più potenti e pesanti. Tenendo conto che un'agricoltura di pregio come l'attività forestale si sviluppa in ambienti collinari e montani (soprattutto le foreste), un eccessivo compattamento può portare a una forte degradazione tanto da innescare fenomeni di erosione talvolta catastrofica, eventi franosi o movimenti di massa che, oltretutto, deturpano fortemente il paesaggio.

Effetti simili si hanno anche in seguito al pascolamento e transito di un eccessivo carico di fauna (sia domestica che selvatica).

È chiaro che lo sviluppo sociale ed economico non può essere arrestato, ma deve avvenire nel rispetto dell'ambiente e delle sue risorse, valutando an-

che che a seguito dell'azione dell'uomo l'ambiente, suolo in primis, ha subito forti degradazioni. Occorre quindi conoscere l'ambiente in cui si opera e programmare azioni e interventi finalizzati a raggiungere il giusto equilibrio e l'armonizzazione dei tre pilastri della sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

LA RESILIENZA DEI SUOLI FORESTALI PERCORSI DA INCENDI

L'evoluzione dei suoli percorsi dal fuoco è di importanza cruciale per una corretta politica di gestione delle aree post incendio.

L'aumento della densità apparente e la diminuzione della porosità, indotte dal passaggio del fuoco, rimangono inalterate per circa un anno dall'incendio, dopo tornano lentamente ai valori pre-incendio.

La tessitura post incendio caratterizzata da un aumento della frazione sabbiosa e una diminuzione di quella argillosa rimane alterata per circa sei mesi. Dopodiché, grazie anche all'azione delle piogge e all'azione solubilizzante delle ceneri liscivate, vengono disaggregate le particelle sabbiose con conseguente loro diminuzione e aumento della frazione argillosa.

L'aumento della stabilità degli aggregati promosso dal passaggio del fuoco rimane inalterato per diverso tempo fino a che l'azione distruttrice e dilavante dell'acqua riduce la stabilità degli aggregati più cementati.

Anche l'aumento del pH dopo l'incendio rimane inalterato per diversi mesi e nel secondo anno ritorna pressoché ai valori iniziali.

Solo dopo un anno si ha un lento ripristino delle condizioni antecedenti l'incendio. Più lento è invece il ripristino della sostanza organica; infatti, dopo il secondo anno si cominciano a registrare nuovi significativi accumuli.

Le ceneri, ricche di minerali, potrebbero avere un effetto fertilizzante del suolo, molto spesso vanificato dai forti fenomeni erosivi.

CONCLUSIONI

- Gli incendi boschivi rappresentano la più pericolosa causa di degradazione e di perdita di biodiversità dei suoli forestali. Diventa quindi fondamentale la loro prevenzione.
- È fondamentale la completa conoscenza della risorsa suolo, così come è fondamentale disporre di banche dati aggiornate dei vari tipi di suolo al fine di poter programmare interventi immediati post incendio in grado di regimare le acque superficiali attenuando la loro forza distruttiva.

- Sarebbe opportuno anche programmare interventi preventivi di messa in sicurezza del territorio, soprattutto nelle aree più fragili.
- Occorre anche programmare pratiche di gestione del bosco che tengano in considerazione la vulnerabilità del suolo stesso cercando, per quanto possibile, di attenuare i processi di compattamento sia con l'uso di macchine operatrici più rispettose dell'ambiente, sia anche programmando e controllando un giusto carico di ungulati.
- Per questo è assolutamente necessario educare l'opinione pubblica alle problematiche della conservazione del suolo e persuadere i selvicoltori ad adottare quelle pratiche forestali idonee a prevenire la degradazione del suolo.

RIASSUNTO

Il passaggio di incendi causa forti alterazioni delle proprietà fisiche dei suoli, come l'aumento della densità apparente, la diminuzione della porosità, l'aumento della frazione sabbiosa e la conseguente diminuzione di quella argillosa, ma anche delle proprietà chimiche, come la diminuzione del pH e della capacità di scambio cationico ma, soprattutto, ha un forte impatto sulla sostanza organica e sulle proprietà biologiche, in quanto distrugge gli esseri viventi alla superficie del suolo, alterando fortemente l'attività microbica.

La sostanza organica può, infatti, avere una duplice azione e cioè quella di assorbire acqua ma, nei suoli forestali, ha anche proprietà idrofobiche che limitano l'infiltrazione dell'acqua.

Durante il passaggio del fuoco una parte della sostanza organica bruciando evapora mentre un'altra parte si liquefa e migra nel profilo del suolo per poi solidificarsi e cementarsi con le particelle minerali in strati, pressoché paralleli alla superficie, quando il gradiente di temperatura si abbassa. Questi strati sono fortemente idrofobici per cui l'acqua non si infiltra ma ruscella in superficie innescando forti fenomeni erosivi. In queste aree, infatti, la capacità di accettazione delle piogge diminuisce drasticamente proprio a causa della idrofobicità della sostanza organica e dell'aumento della frequenza, per effetto dei cambiamenti climatici in atto, di piogge violente che portano a un intensificarsi del ruscellamento superficiale, fino ad arrivare, come conseguenza, a forme di erosione "catastrofiche" e a movimenti di massa. Occorrerebbero, quindi, immediatamente dopo il passaggio di un incendio e nei limiti del possibile, opere di imbrigliamento e di regolazione idrica.

Tali fenomeni erosivi talvolta possono essere accentuati dalla presenza di "cesse" tagliafuoco realizzate secondo la linea di massima pendenza e con fenomeni di compattamento dovuto al passaggio di macchine operatrici, così come dalla viabilità del bosco per consentirne la gestione molto spesso operata con attrezzature troppo pesanti rispetto alla fragilità di quei suoli ma, per una gestione sostenibile, è necessario armonizzare gli aspetti ambientali, sociali ed economici.

ABSTRACT

The impact on soil of forest fires. The passage of fires causes strong alterations of physical properties of soils, such as an increase of bulk density, a decrease of porosity, an increase of the sandy fraction and a consequent decrease of the clayey one, but also of chemical properties, such as a decrease of pH and cation exchange capacity but, above all, it has a strong impact on organic substance and biological properties, as it destroys living organisms on the surface of the soil, strongly altering the microbial activity.

The organic substance can, in fact, have a dual action, namely that of absorbing water but, in forest soils, it also has hydrophobic properties that limit the infiltration of water.

During the passage of fire, a part of the organic substance evaporates while burning while another part liquefies and migrates into the soil profile and then solidifies and cements with the mineral particles in layers, almost parallel to the surface, when the temperature gradient is lowered.

These layers are highly hydrophobic, so the water does not infiltrate but runoff on the surface, triggering strong erosive phenomena. In these areas, in fact, the capacity to accept rains drastically decreases precisely because of the hydrophobicity of the organic substance and the increase in the frequency, due to the climate changes in progress, of violent rains that lead to an intensification of surface runoff, up to arrive, consequently, to forms of "catastrophic" erosion and mass movements. Therefore, immediately after the passage of a fire and as far as possible, harnessing and water management works would be necessary.

These erosive phenomena can sometimes be accentuated by the presence of fire-break strips built according to the maximum slope line and with compaction phenomena due to the passage of operating machines, as well as by the viability of the forest to allow its management very often operated with equipment that is too heavy compared to the fragility of those soils but, for sustainable management it is necessary to harmonize environmental, social and economic aspects.

BIBLIOGRAFIA

- DE BANO L.F. (1981): *Water repellent soil: a state of art*, «Gen. Tech. Rep-PSW», 46. U.S.D.A. Forest Serv. Berkeley.
- CERTINI G. (2005): *Effects of fire on properties of forest soils: A review*, «Oecologia», 143, pp. 1-10.
- GIOVANNINI G., LUCCHESI S., GIACHETTI M. (1998): *Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility*, «Soil Science», 146, pp. 255-261.
- GIOVANNINI G. (2012): *Fire in agricultural and forestal ecosystems. The effects on soil*, ETS, Pisa, p. 86.
- FRANCOS M., PEREIRA P., ALCANIZ M., MATAIX-SOLERA J., UBEDA X. (2016): *Impact of an intense rainfall event on soil properties following a wildfire in a Mediterranean environment (north- East Spain)*, «Sci. Total Environ.», <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.145>>.
- INBAR M., TAMIR M., WITTEMBER L. (1998): *Runoff and erosion processes after forest fire in Mount Camel, a Mediterranean area*, «Geomorphology», 24, pp. 17-33.

- PAGLIAI M. (1988): *Soil porosity aspects*. International Agrophysics, 4: 215-232.
- PAGLIAI M., MARSILI A., SERVADIO P., VIGNOZZI N., PELLEGRINI S. (2003): *Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power*, «Soil Till. Res.», 73, pp. 119-129.
- SHAKESBY R. (2011): *Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: review and future research directions*, «Earth Sci. Rev.», 105, pp. 71-100.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1965): *Predicting rain-fall-erosion losses from cropland east of Rocky Mountains*, Agricultural Handbook No. 282. United States Government Printing Office.