

## Fuoco e vento: minacce crescenti per i suoli forestali

Che suolo, vento e fuoco siano tre fattori ecologici intrinsecamente legati tra loro ce lo ricordano col loro nome gli *Earth, Wind & Fire*, un gruppo musicale famoso fin dagli anni '70; anche se poi, banalmente il gruppo si chiama così per questioni astrologiche legate alla data di nascita del leader.

La sinergia fra vento e fuoco ha un grande impatto sulla vegetazione e sul suolo. Da una parte il vento fomenta gli incendi, sia perché apporta ossigeno – “ingrediente” fondamentale per il fuoco – sia perché spinge progressivamente le fiamme verso nuovo combustibile. E gli incendi, quando di grande severità e oltremodo frequenti, possono essere causa di seria degradazione del suolo. D'altra parte, nella fase immediatamente successiva all'incendio il vento è causa di asportazione della parte più superficiale del suolo, una coltre di cenere e/o carbone assai suscettibile a essere asportata ma ricca in nutrienti e quindi cruciale per la resilienza del bosco (Bodí et al., 2014).

Il vento peraltro è in grado di causare danni ai suoli forestali anche a prescindere dal fuoco, soprattutto tramite i ribaltamenti degli alberi, la caduta cioè degli stessi con sradicamento. Questo causa in corrispondenza e nell'intorno della base del fusto un forte disturbo del suolo (fig. 1), più o meno accentuato a seconda della profondità ed ampiezza dell'apparato radicale e delle caratteristiche fisiche del suolo.

Sono tanti gli autori che hanno enfatizzato gli aspetti positivi degli sradicamenti ai fini della rinnovazione e il mantenimento della biodiversità in bosco (per esempio, Ulanova, 2000; Kern et al., 2019). Questi creano infatti soluzioni di continuità nella copertura arborea, che permettono l'arrivo di

\* Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze



Fig. 1 Sradicamento in un'abetina della Foresta di Vallombrosa (FI). Oltre a un completo sconvolgimento della sequenza di orizzonti del suolo, si ha la formazione di una soluzione di continuità della superficie, caratterizzata dall'alternanza di un dosso ed un avvallamento, che cambia l'idrologia nell'intorno del crollo

radiazione solare a terra, favorevole alla rinnovazione. Ma creano anche una morfologia a terra particolare, caratterizzata dall'accoppiata "buca e dosso". Alla buca che si crea con lo sradicamento fa infatti da contraltare il dosso che si crea con il materiale solidale con le radici e che ricade col tempo alla base delle stesse. Soprattutto in foreste di conifere boreali o di alta quota caratterizzate da humus *mor* questo disturbo del suolo è funzionale a interrompere sia in senso orizzontale che verticale lo spesso orizzonte organico che rende difficile la radicazione delle plantule e il raggiungimento dello strato minerale, laddove le stesse possono reperire acqua e nutrienti necessari alla crescita. La rinnovazione del bosco avviene tipicamente sui dossi, dove migliori sono le condizioni di drenaggio del suolo, mentre gli avvallamenti fungono da collettori di acqua e sostanza organica. Ma implicazioni positive dall'irregolarità della superficie del suolo creatasi con gli sradicamenti sono anche l'attenuazione della velocità del flusso superficiale e la maggiore infiltrazione di acqua nel suolo, che da una parte limitano l'erosione e dall'altra riducono lo

stress idrico a carico delle piante (Valtera e Schaetzel, 2017). L'effetto positivo dell'alternanza avallamento/dosso si riduce via via che il numero di piante contigue ribaltatesi aumenta, fino a venir superato dall'effetto negativo allorché l'area interessata e la pendenza assumono valori elevati. Le problematiche sono prevalentemente di ordine idrogeologico; infatti, a causa dell'assenza di copertura delle chiome e di una ricolonizzazione vegetale che può richiedere molto tempo, il suolo è in balia dell'erosione e la tanta acqua che si infiltra in esso in occasione di forti precipitazioni può renderlo semifluido e quindi promuoverne frane, smottamenti e soliflussi. Le misure adottabili per limitare il rischio nelle aree colpite da tempeste o uragani e con crolli delle piante generalizzati sono di vario tipo e tra queste anche quella di lasciare in loco parte del materiale legnoso. Tra l'altro lo sgombero dello stesso è una fase delicata, che può esacerbare le problematiche di tipo idrogeologico se non eseguita con le necessarie attenzioni. In particolare si deve evitare con il passaggio dei mezzi di compattare il suolo e di creare solchi, che diventano inevitabilmente vie di deflusso preferenziali per l'acqua. Allo scopo, bisogna intervenire quando il suolo non è troppo umido e ha quindi una buona portanza, limitando il numero di passaggi dei mezzi sulle stesse porzioni di suolo, e aumentando quanto più possibile l'area di contatto fra mezzi e suolo, così da distribuire meglio il peso a terra e diminuire la pressione per unità di area (Cambi et al., 2015). Nelle situazioni più critiche, vedi elevate pendenze e suoli particolarmente propensi a muoversi (ad esempio, quelli sviluppatasi su depositi piroclastici), sarebbe bene eseguire quanto prima appropriate sistemazioni idrauliche superficiali per smorzare il deflusso delle acque sulle superfici rimaste scoperte, perlomeno fino a quando la vegetazione non avrà ripreso campo, naturalmente o tramite piantumazione.

Anche il fuoco, come e forse più del vento, è capace in autonomia di distruggere in poco tempo foreste di grandi dimensioni, e anche degradarne seriamente i suoli. C'è chi ha stimato che in un ipotetico mondo senza fuoco, le foreste sarebbero il doppio delle attuali (Bond et al., 2005). Effettivamente, ogni anno gli incendi interessano circa 3 milioni e mezzo di km<sup>2</sup>, che equivalgono a più del 3% della superficie vegetata globale (Giglio et al., 2010). Ciò significa che cumulativamente gli incendi potrebbero coinvolgere l'intera area vegetata globale nell'arco di poco più di una generazione umana! In realtà molti incendi ritornano a breve su aree già colpite e quindi vi sono altre aree che vengono coinvolte dal passaggio del fuoco assai raramente. Tuttavia, al di là delle tempistiche con cui avviene, ciascuna superficie vegetata è prima o poi interessata dal passaggio del fuoco. Quest'ultimo provoca cambiamenti un po' in tutte le caratteristiche del suolo, biologiche, chimiche, mineralogi-

che e fisiche (Certini, 2005). Tali cambiamenti sono più o meno duraturi, a seconda della caratteristica, e talvolta addirittura irreversibili. L'impatto complessivo è proporzionale alle temperature raggiunte a terra durante l'incendio ed alla durata delle stesse. Nell'immediato tale impatto è confinato nella parte più superficiale del suolo, roba di pochi centimetri, in quanto il suolo è un pessimo conduttore termico. Non a caso con suolo tradizionalmente si ricoprivano i tetti delle abitazioni nei paesi freddi e la pratica sta tornando prepotentemente di moda nell'architettura moderna, nella progettazione delle cosiddette "smart cities" ai fini del risparmio energetico (Besir e Cuce, 2018). Ma col passare tempo parte delle modificazioni imposte dal fuoco si trasferiscono altrove, sia in senso orizzontale che in quello verticale, perché il suolo è un sistema aperto in cui vi è apporto e traslocazione di materiali. In ogni caso, sul lungo termine il fuoco ha un impatto tale sul suolo da poter essere considerato un vero e proprio fattore di pedogenesi (Certini, 2014).

Le conseguenze degli incendi sulla biologia del suolo sono spesso importanti. La componente più indifesa è quella degli organismi inferiori che non sono in grado di scappar via, tra questi i microrganismi. Gli incendi alterano sia l'attività che la composizione specifica della comunità microbica del suolo. Batteri e funghi sono i due gruppi di gran lunga più abbondanti tra i microrganismi del suolo. In generale, i batteri sono più resistenti dei funghi alle alte temperature, quindi il rapporto tra biomassa batterica e biomassa fungina spesso aumenta in seguito al passaggio del fuoco. Nei primi centimetri del suolo, comunque, l'effetto immediato del fuoco è spesso di totale sterilizzazione.

Il combustibile a terra dell'incendio è costituito dalla necromassa e dall'orizzonte organico del suolo. Ciò che rimane alla superficie dopo il passaggio del fuoco ci definisce la "severità" dell'incendio, che è conseguenza e causa dell'energia sviluppata, la cosiddetta "intensità" dell'incendio. Il colore è un buon indice della severità. Approssimativamente, per temperature raggiunte alla superficie tra 100 e 300 °C il colore a terra è nero perché il residuo è essenzialmente carbone, per temperature tra 300 e 500 °C il colore alla superficie è grigio perché il residuo è un mix di carbone e cenere, e per temperature tra 500 e 700 °C il colore alla superficie è biancastro perché il residuo è cenere, e subito al di sotto rosso perché la "cottura" del suolo minerale implica la formazione di alcuni ossidi di ferro. Tra questi la maghemite, così stabile nel suolo e così tipicamente formata dalle alte temperature da essere un affidabile marcatore degli incendi recenti e passati (Jordanova et al., 2018). Per contro, ci sono minerali che altrettanto tipicamente si decompongono alle temperature imposte dagli incendi. Da citare a riguardo è la caolinite, il minerale argilloso spesso più abbondante nei suoli, che collassa poco oltre i 500 °C.

La sostanza organica del suolo, perlomeno quella più prossima alla superficie, è combustibile; dunque, è lecito attendersi una sua perdita netta in seguito a un incendio. E in effetti è quello che generalmente avviene, anche se l'arrivo a terra di biomassa parzialmente carbonizzata può in parte compensare la perdita. Sul medio/lungo termine, tuttavia, se l'uso del suolo non cambia e il bosco dimostra di essere resiliente, si ha spesso un guadagno apprezzabile in carbonio organico del suolo, come dimostrato da Johnson e Curtis (2001) tramite meta-analisi. Evidentemente, col ritorno del bosco il suolo riacquista il carbonio perso più conserva il carbone, che è la componente della sostanza organica più resistente alla degradazione. Esso gioca un qualche ruolo sull'ecologia e la fertilità del suolo, in quanto, per il fatto di essere dotato di carica negativa e di grande porosità, accresce rispettivamente la capacità di scambio cationico e la ritenzione di acqua del suolo. La capacità adsorbente del carbone "fresco" può essere inoltre funzionale a inattivare composti fitotossici prodotti da specie invasive (Zackrisson et al., 1996). In quest'ottica, l'incendio si configura come una strategia ecologica con cui un ecosistema si mantiene. Al di là dell'apporto di carbone, le caratteristiche chimiche del suolo solitamente migliorano in seguito a un incendio. Il pH aumenta, almeno in suoli non calcarei, sia per la combustione degli acidi organici del suolo sia per la produzione di ceneri ricche in basi (Ca, Mg, K, Na). La saturazione basica, cioè l'abbondanza relativa delle basi sul complesso di scambio, aumenta. Azoto e fosforo si liberano dalla sostanza organica in forme assimilabili e quindi la loro disponibilità per la pianta aumenta. D'altronde questi sono i motivi per cui un tempo in campo agricolo si praticava il "debbio", cioè l'abbruciamento dei residui vegetali. Il fatto è che si tratta comunque di un aumento di fertilità effimero. L'azoto ammoniacale, per esempio, passa velocemente a nitrato e come tale è dilavato dal suolo, mentre il fosfato passa a forme insolubili e quindi indisponibili.

Uno degli effetti più degradanti degli incendi a elevata severità è la demolizione della struttura del suolo, a causa della combustione dei leganti organici (Mataix-Solera et al., 2011). Come conseguenze la porosità diminuisce, la densità apparente aumenta, il suolo diventa insomma meno permeabile e più erodibile (fig. 2).

Oltre a ciò, per temperature fino a 250-300 °C si forma o si accentua, alla superficie del suolo o poco sotto, uno strato idrofobico che limita l'infiltrazione dell'acqua e quindi favorisce l'erosione (DeBano, 2000). Per limitare quest'ultima vari tipi di pacciamatura sono stati proposti, alcuni efficaci altri meno. Piuttosto efficaci sono i leganti sintetici, che vengono spruzzati sulla superficie del suolo per stabilizzarlo. Tra questi la poliacrilamide che, testata in Spagna, ha dato ottimi risultati riducendo del 30-40% la perdita di suolo per erosione (Inbar et al., 2015). Ma il costo del materiale e della sua applicazione è elevato





*Fig. 2 Suolo coinvolto nel 2018 da un incendio di vaste proporzioni ed elevata severità sul Monte Serra (PI) e successivamente eroso da acqua e vento. Evidente è l'elevata pietrosità superficiale*

e allora l'obiettivo è di trovare metodi più ecologici e meno dispendiosi. Promettente nello stabilizzare la superficie del suolo bruciato tramite la creazione di "biocroste" sembra essere l'inoculazione di cianobatteri (Chamizo et al., in stampa).

Un ultimo problema spesso sottovalutato relativo agli incendi, è l'inquinamento che si genera dai rifiuti eventualmente lasciati in bosco. Le plastiche sono la categoria forse più rappresentata. Già nocive di per sé, soprattutto quando passano allo stato ultrafine (le cosiddette "microplastiche"), se vanno incontro a combustione con temperature comprese tra 200 e 500 °C e in carenza di ossigeno producono diossine. Queste sono sostanze molto tossiche e capaci di persistere per tempi lunghissimi nel suolo.

#### RIASSUNTO

Vento e fuoco rappresentano minacce crescenti per le foreste e i loro suoli. I cambiamenti

climatici, infatti, stanno implicando un aumento della frequenza di eventi calamitosi quali tempeste e incendi a severità estrema. L'impatto del vento e del fuoco a terra può essere deleterio, soprattutto quando questi due fattori agiscono in sinergia. Sia nel caso delle tempeste di vento che degli incendi, la conseguenza più negativa per la conservazione del suolo è l'erosione. Questa implica perdita di fertilità e/o di biodiversità del suolo. Nel caso degli incendi, tra gli effetti indesiderati a carico del suolo c'è l'inquinamento quando in bosco vi sono rifiuti in determinati materiali sintetici. La gestione dell'area coinvolta dalla calamità può attenuare o, per contro, enfatizzare l'impatto sul suolo, secondo le modalità con cui viene eseguita; come tale, essa può favorire, rallentare o addirittura impedire la resilienza del bosco.

#### ABSTRACT

Wind and fire are growing threats to forests and their soils. Indeed, climate change is implying an increase in the frequency of calamitous events, such as storms and extreme severity wildfires. The impact of wind and fire on soil can be detrimental, especially when these two factors work in synergy. Either in the case of wind storms or fires, the most negative consequence for soil conservation is erosion. This implies loss of soil fertility and/or biodiversity. In the case of fire, soil pollution can be an undesirable effect when there is waste made in certain synthetic materials. The management of the area affected by the calamity can attenuate or, on the other hand, emphasize the impact on the soil, depending on how it is carried out; hence, land management can favour, slow down or even prevent the resilience of the forest.

#### BIBLIOGRAFIA

- BESIR A.B., CUCE E. (2018): *Green roofs and facades: A comprehensive review*, «Renewable and Sustainable Energy Reviews», 82, pp. 915-939.
- BODÍ M.B., MARTIN D.A., BALFOUR V.N., SANTÍN C., DOERR S.H., PEREIRA P., CERDÀ A., MATAIX-SOLERA J. (2014): *Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydrogeomorphic effects*, «Earth-Science Reviews», 130, pp. 103-127.
- BOND W.J.J., WOODWARD F.I.I., MIDGLEY G.F.F. (2005): *The global distribution of ecosystems in a world without fire*, «The New Phytologist», 165, pp. 525-537.
- CAMBI M., CERTINI G., NERI F., MARCHI E. (2015): *The impact of heavy traffic on forest soils: a review*, «Forest Ecology and Management», 338, pp. 124-138.
- CERTINI G. (2005): *Effects of fire on properties of forest soils: a review*, «Oecologia», 143, pp. 1-10.
- CERTINI G. (2014): *Fire as a soil-forming factor*, «Ambio», 43, pp. 191-195.
- CHAMIZO S., ADESSI A., CERTINI G., DE PHILIPPIS R. (in stampa): *Cyanobacteria inoculation as a potential tool for stabilization of burned soils*, «Restoration Ecology», doi: 10.1111/rec.13092
- DEBANO L.F. (2000): *The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review*, «Journal of Hydrology», 231-232, pp. 195-206.
- GIGLIO L., RANDERSON J.T., VAN DER WERF G.R., KASIBHATLA P.S., COLLATZ G.J., MOR-

- TON D.C., DEFRIES R.S. (2010): *Assessing variability and long-term trends in burned area by merging multiple satellite fire products*, «Biogeosciences», 7, pp. 1171-1186.
- INBAR A., BEN-HUR M., STERNBERG M., LADO M. (2015): *Using polyacrylamide to mitigate post-fire soil erosion*, «Geoderma», 239, pp. 107-114.
- JOHNSON D.L., CURTIS P.S. (2001): *Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis*, «Forest Ecology and Management», 140, pp. 227-238.
- JORDANOVA D., JORDANOVA N., BARRÓN V., PETROV P. (2018): *The signs of past wildfires encoded in the magnetic properties of forest soils*, «CATENA», 171, pp. 265-279.
- KERN C.C., SCHWARZMANN J., KABRICK J., GERNDT K., BOYDEN S., STANOVICK J.S. (2019): *Mounds facilitate regeneration of light-seeded and browse-sensitive tree species after moderate-severity wind disturbance*, «Forest Ecology and Management», 437, pp. 139-147.
- MATAIX-SOLERA J., CERDÀ A., ARCENEGUI V., JORDÁN A., ZAVALA L.M. (2011): *Fire effects on soil aggregation: A review*, «Earth-Science Reviews», 109, pp. 44-60.
- ULANOVA N.G. (2000): *The effects of windthrow on forests at different spatial scales: a review*, «Forest Ecology and Management», 135, pp. 155-167.
- VALTERA M., SCHAEZTL R.J. (2017): *Pit-mound microrelief in forest soils: Review of implications for water retention and hydrologic modelling*, «Forest Ecology and Management», 393, pp. 40-51.
- ZACKRISSON O., NILSSON M.-C., WARDLE D.A. (1996): *Key ecological function of charcoal from wildfire in the boreal forest*, «Oikos», 77, pp. 10-19.