

Giornata di studio online:

L'acqua da risorsa a calamità

15 dicembre 2020

Relatori

Marco Bottino, Amedeo Alpi, Marcello Pagliai, Edoardo A.C. Costantini,
Marcello Mastroiilli, Maurizio Servili, Francesco Zecca, Massimo Gargano,
Stefania Nuvoli, Simone Fagioli

EDOARDO A.C. COSTANTINI¹

L'acqua da risorsa a calamità: impatti sul suolo e strategie di mitigazione

¹ President Elect, International Union of Soil Sciences; Secretary, European Society for Soil Conservation; Accademia dei Georgofili; Accademia Nazionale di Agricoltura

INTRODUZIONE

Le qualità del suolo sono sempre più minacciate dai cambiamenti climatici e di uso e gestione agricola e forestale che caratterizzano la nostra epoca, l'Antropocene, tanto che si stima che il 55% delle terre desertificate del mondo sia attribuibile al degrado del suolo (Lal, 2010). Si stima inoltre che il degrado del suolo influisca sul 23,5% della superficie terrestre globale e abbia reso inadatti alla coltivazione tra 1 e 2,3 milioni di ettari di terreni agricoli (Koch et al., 2013).

Numerosi dati e ricerche indicano una chiara interazione tra eventi piovosi sempre più concentrati ed erosivi, dissesto idrogeologico e minor quantità di acqua piovana infiltrata nel suolo e utilizzabile dalle piante (Lal, 2013). Per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici in atto è necessario adottare delle agrotecniche sempre più precise e accurate, in grado di aumentare la resistenza e la resilienza del suolo. A tal fine è indispensabile stimare nel modo più accurato possibile il volume di acqua potenzialmente evapotraspirabile dal suolo e dalle piante coltivate, o "green water" (Falkenmark e Rockström, 2006). Scopo di questo lavoro è di evidenziare come a causa del cambiamento climatico in corso e di modelli di gestione del suolo non sostenibili l'acqua possa divenire sia una risorsa sempre più scarsa sia una calamità sempre più frequente. Alla luce dello stato dell'arte sulla "coscienza sistematoria" in Italia si introducono le potenzialità della "pedotecnica di precisione". Viene anche proposta una metodologia per una stima più accurata della capacità di trattenuta di acqua disponibile per le piante nel suolo, che tenga conto del volume effettivamente esplorabile dalle radici.

SICCITÀ, RISCHIO IDROGEOLOGICO ED EROSIONE IDRICA DEL SUOLO

L'Italia è un Paese che presenta criticità sia per carenza che per eccesso idrico. Sebbene la maggior parte del suo territorio sia interessata da un deficit idrico più o meno accentuato, non mancano aree caratterizzate da un elevato surplus. Posta al centro del bacino del Mediterraneo e allo stesso tempo della zona temperata dell'emisfero boreale, con la sua forma allungata dal 35° al 47° parallelo e l'accentuata orografia, vede la presenza di climi anche molto diversi: da quelli continentali temperati a vari tipi di clima Mediterraneo, fino al subtropicale (Costantini et al., 2013). Nonostante il valore medio annuo delle precipitazioni a livello nazionale sia quasi lo stesso della evapotraspirazione potenziale (circa 1000 mm), i valori del deficit climatico (indice di aridità: rapporto tra precipitazioni ed evapotraspirazione) inferiori a uno dominano l'Italia. In molti territori dell'Italia centro-meridionale i climi sono subumidi secchi o semiaridi, specialmente in Sicilia, Puglia, Sardegna e Basilicata. Da secoli quindi l'agricoltura intensiva è stata possibile solo in presenza di contributi irrigui e la raccolta e conservazione delle acque meteoriche una pratica diffusa e anche molto sofisticata (Corti et al., 2013) tanto che attualmente in Italia ci sono circa 8.350 dighe che raccolgono 13 miliardi di metri cubi di acqua (Terribile et al., 2013).

Se la carenza d'acqua è da sempre un importante fattore che limita la produzione agricola, forestale e zootecnica in Italia, si stima che la sua incidenza dovrebbe aumentare con il cambiamento climatico, che si prevede particolarmente negativo per l'Europa meridionale (Falloon e Betts, 2010). Secondo l'IPCC, le aree del Mediterraneo rischiano di subire temperature più elevate, maggiore variabilità delle precipitazioni e maggiore frequenza di eventi estremi (Kovats et al., 2014). Si prevede che nel complesso le precipitazioni saranno più irregolari, con prolungati periodi di siccità associati a precipitazioni di forte intensità.

Il regime delle piogge è già in molte parti del nostro Paese caratterizzato da una forte stagionalità e concentrazione degli eventi piovosi, che ne aumentano l'erosività per il suolo. I terreni italiani, spesso ringiovaniti dall'azione erosiva dell'acqua piovana, hanno una forte correlazione geografica con il clima (Costantini e Lorenzetti, 2013). Il valore medio dell'erosività delle piogge, pari a 90,2 mm (indice di Fourier), evidenzia l'alto rischio di erosione che minaccia i suoli italiani (Costantini et al., 2013). Le aree con le precipitazioni più concentrate coincidono in parte con i territori più piovosi (Friuli, parte della Lombardia e Piemonte, parte settentrionale della Toscana), ma si estendono anche alla costa ligure e meridionale delle regioni italiane che si affac-

ciano sul Mar Tirreno (Campania, Basilicata, Calabria). Altre aree critiche si trovano in Sicilia, tra il Monte Etna e il Mar Ionio, e nella Sardegna orientale, tra il Monte Gennargentu e il Mar Tirreno (Costantini et al., 2013).

Alcuni recenti studi hanno dimostrato che alcuni indicatori delle qualità del suolo, quali stoccaggio di C organico, suscettività al compattamento e all'incrostamento, erodibilità e tasso di erosione, siano già variati in dipendenza dei cambiamenti climatici avvenuti in Italia dagli anni '60 ad oggi e potranno cambiare ancora sensibilmente in funzione del clima previsto per il periodo 2020-2050 (Fantappiè et al., 2010; Fantappiè et al., 2011; Pellegrini et al., 2018).

EROSIONE E SCADIMENTO DELLE QUALITÀ IDROLOGICHE DEL SUOLO

L'erosione del suolo riduce la produttività agricola, degrada le funzioni dell'ecosistema, amplifica il rischio idrogeologico come frane o alluvioni, provoca perdite significative nella biodiversità, danni alle infrastrutture urbane e, nei casi più gravi, porta alla desertificazione. L'erosione del suolo porta allo scadimento delle sue proprietà idrologiche, in particolare, ha effetti negativi sul rischio di compattazione, incrostamento e sigillamento e, di conseguenza, diminuisce la capacità di infiltrazione dell'acqua nel suolo, la sua riserva idrica e anche il drenaggio attraverso il suolo, con conseguenti problemi di eccesso idrico invernale e scarsità d'acqua disponibile per le piante in estate. L'erosione provoca la distruzione e la perdita degli aggregati strutturali, della sostanza organica e degli elementi nutritivi, della biodiversità del suolo, della sua capacità di degradare le sostanze inquinanti e di "assimilare" i residui colturali e le altre materie organiche, con uno scadimento generale della fertilità e funzionalità del suolo (García-Orenes et al., 2009; Zheng-An et al., 2010; Costantini et al., 2018). In agricoltura, si stima che l'erosione del suolo possa portare a una perdita fino a oltre il 50% dei raccolti (Pimentel e Burgess, 2013).

L'erosione del suolo ha un impatto diretto sul reddito degli agricoltori, ma ha anche implicazioni per l'ambiente e la nostra salute, tra cui la qualità dell'acqua, le infrastrutture urbane e i nostri paesaggi. Ad esempio, i sedimenti associati alle particelle di suolo spostate dal vento e dall'acqua possono portare a inquinare l'aria, il suolo e l'acqua di aree anche lontane da quelle di origine.

L'impatto delle forti precipitazioni sui terreni lavorati provoca l'immediata rottura degli aggregati superficiali, le cui particelle disperse si dispongono in

superficie e tendono a chiudere i macropori e a sigillare il suolo. Più il suolo è degradato, più è spessa e compatta la crosta superficiale che si forma a seguito delle piogge e maggiore è la perdita di acqua per scorrimento superficiale (Pagliai, 2009). Recenti studi hanno dimostrato come suoli erosi di 19 vigneti posti in sette Paesi del Mediterraneo avessero meno acqua disponibile (Available Water Capacity, AWC), maggiore compattazione e minore profondità di radicazione dei corrispondenti suoli meglio preservati (Costantini et al., 2018). In definitiva, l'erosione e il compattamento del suolo conseguenti a una gestione agronomica non sostenibile, diminuendo fortemente le sue capacità di regolazione sia della nutrizione idrica delle piante, sia dei deflussi e sedimenti nei bacini idrografici, rendono i suoli meno resilienti e più fragili e l'agricoltura stessa più vulnerabile rispetto ai cambiamenti climatici in atto.

LA CULTURA DELLA DIFESA DEL SUOLO IN ITALIA E LA “COSCIENZA SISTEMATORIA”

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) considera come costituenti del dissesto idrogeologico essenzialmente le frane e le alluvioni (<http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/dissesto-idrogeologico>). In alcuni casi si include anche l'erosione marina degli ambienti costieri, come, ad esempio, negli interventi previsti dalla Regione Toscana in tema di difesa del suolo (<https://www.regione.toscana.it/interventi-di-difesa-del-suolo>). L'erosione idrica del suolo viene invece compresa da ISPRA nei fenomeni di degrado del suolo, assieme ai cambiamenti di copertura del suolo, perdita di produttività, di carbonio organico e di qualità degli habitat e alle aree incendiate. Nonostante l'erosione idrica del suolo in Italia sia in media la più elevata in Europa ($8,46 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$) e spesso sorpassi i valori considerati tollerabili (Panagos et al., 2015) ancora non viene quindi adeguatamente considerata, soprattutto nelle sue relazioni con i fenomeni di frane e alluvioni, nonostante che in Italia, nell'ultimo secolo, gli eventi più catastrofici abbiano riguardato proprio la copertura del suolo delle aree montane (Terribile et al., 2013). Ed è la natura stessa del suolo che può facilitare l'innescio di frane, soprattutto nei suoli caratterizzati da bassa densità apparente, elevata ritenzione idrica, porosità e permeabilità, e da proprietà tixotropiche (Basile et al., 2003).

Una delle cause principali dell'elevata erosione del suolo in Italia è la perdita della cultura del suolo e, in particolare, della “coscienza sistematoria” cioè dell'attenzione alla predisposizione e manutenzione di adeguate sistemazioni

idraulico agrarie, volte a regimare i deflussi e a evitare l'erosione idrica del suolo (Costantini e Sulli, 2000; Cocco et al., 2020).

A partire dal dopoguerra, i cambiamenti nell'uso e nella gestione del suolo, la diminuzione di mano d'opera specializzata e locale, la sempre maggiore diffusione di nuove tecnologie impattanti, assieme all'aumento della lunghezza dei campi per favorire la meccanizzazione, hanno di fatto aumentato l'erosione del suolo (Chisci e Morgan, 1986).

In uno studio realizzato in provincia di Siena è stato dimostrato che i cambiamenti dell'uso del suolo e la scomparsa delle sistemazioni idrauliche agrarie che si sono verificati durante gli anni '70 e '80 hanno causato il deterioramento dell'idrologia dei suoli, con un aumento dei deflussi idrici di oltre il 30%. Ne è conseguito un notevole aumento del rischio di inondazione e un accorciamento del tempo di ritorno degli eventi meteorici che sono in grado di provocare effetti catastrofici (Costantini e Barbetti, 2008).

Vi sono poi alcune forme di erosione del suolo spesso poco considerate, ma molto importanti, che si riferiscono all'impianto delle colture arboree specializzate. Esse riguardano l'asportazione e seppellimento parziale o totale dei suoli prima dell'impianto e i fenomeni erosivi che si sviluppano nei primi anni dopo l'impianto. Ricerche condotte da Bazzoffi e collaboratori nel territorio della collina cesenate e nel senese hanno dimostrato che, a seguito dei livellamenti, nelle aree di scavo l'erosione è risultata compresa fra 8.640 e 23.040 t ha⁻¹, mentre nelle zone di accumulo gli apporti di materiale terroso sono risultati compresi fra 7.250 e 16.320 t ha⁻¹. Nelle condizioni di alta vulnerabilità del suolo dopo il livellamento, l'erosione idrometeorica è risultata catastrofica. Pochi eventi piovosi, occorsi in un unico periodo autunno-vernino, hanno determinato asportazioni di suolo comprese fra 260 e 537 t ha⁻¹ (Bazzoffi et al., 2009). A livello europeo, valori analoghi di erosione del suolo vengono riportati anche in altre aree viticole, soprattutto in ambiente mediterraneo, sempre collegate a sbancamenti eccessivi (Martínez Casasnovas e Ramos, 2009). Questi valori appaiono fuori scala se comparati al livello di erosione tollerabile, stabilito da molti autori intorno alle 10 t ha⁻¹ anno⁻¹ (Panagos et al., 2015). Anche considerando la gestione ordinaria dei suoli, l'analisi di un ampio database europeo di misurazioni delle perdite di suolo medie pluriennali in diverse colture ha mostrato i tassi di erosione più elevati proprio nei vigneti, a causa delle pendenze elevate e della eccessiva lunghezza dei filari, delle frequenti lavorazioni e dell'uso di macchinari pesanti (Cerdan et al., 2010).

In generale, la rilevanza e la diffusione dell'erosione del suolo causata dalla gestione agricola hanno stimolato la ricerca scientifica per molti anni, con molti

risultati applicativi di rilievo, ripresi anche nelle politiche comunitarie (Bazzoffi, 2009). Tra questi vi sono le tecniche di lavorazione ridotta e di coltivazione conservativa. Nella Conferenza EU2019.FI di Helsinki del settembre 2019 la Comunità europea ha inserito tra le Politiche agricole per il periodo 2020-2027 l'obiettivo di incentivare l'adozione di lavorazioni conservative per limitare l'erosione del suolo e favorire l'accumulo di sostanza organica nei suoli, al fine di contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici. Tali tecniche cominciano a diffondersi anche in Italia, seppure con molte incertezze e per lo più per alcune colture arboree, quali oliveti e frutteti (Marandola, 2019; Fantappiè, 2020).

Attualmente la ricerca nel settore della erosione e conservazione del suolo si orienta principalmente sui seguenti obiettivi (Poesen, 2018):

- 1) migliorare la comprensione dei processi sia naturali che antropogenici di erosione del suolo e delle loro interazioni;
- 2) dimensionare i processi e la velocità di erosione del suolo nello spazio e nel tempo;
- 3) produrre tecniche e strategie innovative per prevenire l'erosione del suolo o ridurne l'entità.

LA "PEDOTECNICA DI PRECISIONE":

PROGETTARE IL SUOLO E LA SUA CAPACITÀ DI TRATTENUTA

DI ACQUA DISPONIBILE NEL VOLUME ESPLORABILE DALLE RADICI

Tra le tecniche e strategie innovative per prevenire l'erosione del suolo e mitigare l'aggressività delle piogge si può includere anche la "pedotecnica di precisione". "Pedotecnica" è un termine introdotto nella scienza del suolo negli anni '80 per indicare le attività umane che influenzano la formazione e la morfologia dei suoli (Van Ouwerkerk e Koolen, 1988; Fanning e Fanning, 1989). Tale termine è stato recentemente utilizzato in studi relativi ai movimenti di terra realizzati prima dell'impianto delle colture arboree specializzate (Dazzi et al., 2019). Infatti, prima dell'impianto di colture come vigneti, oliveti e frutteti specializzati, vengono abitualmente realizzati interventi volti a favorire la meccanizzazione e la riduzione dei tempi delle operazioni colturali. Si creano a questo fine campi molto lunghi, senza interruzioni di pendio, spesso posti sulle linee di massima pendenza, il cosiddetto "rittochino". Di regola non si pone molta attenzione alle caratteristiche del suolo e del substrato interessati dagli sbancamenti, per cui il risultato è che i suoli originali vengono troncati, sepolti o addirittura completamente asportati, venendo ad affiorare il sottostante substrato non pedogenizzato (fig. 1).



Fig. 1 Erosione incanalata successiva allo sbancamento di una pendice per la sostituzione di un seminativo con un vigneto specializzato (Toscana centrale). Il livellamento del suolo ha portato all'affioramento del substrato sabbioso fine, molto erodibile e non protetto dalla vegetazione

Le principali proprietà fisico-idrologiche del suolo che vengono stravolte da queste agrotecniche sono spessore e alternanza degli strati, struttura e porosità, conducibilità idraulica e scabrezza superficiale.

Con il termine “pedotecnica di precisione”, che si propone in questa sede, si intende un insieme di interventi di lavorazione del suolo e movimento di terra, precedenti l’impianto di una coltura arborea, che tenga conto non solo della morfologia superficiale che si vuole ottenere, ma anche delle caratteristiche dei suoli originali e di quelle dei suoli “obiettivo”. Il termine “di precisione” fa riferimento alla conduzione di studi pedologici accurati, possibilmente realizzati con metodologie avanzate (sensori geoelettrici e radiometrici prossimi), per la delimitazione dei suoli (Priori et al., 2018).

Sono attualmente presenti in letteratura alcune esperienze di gestione del suolo viticolo che prevedono l’accumulo dello strato superficiale più fertile e la sua successiva distribuzione sulla superficie risultante dagli sbancamenti (Sharp-Heward et al., 2014). Tali interventi però non prevedono una progettazione accurata delle caratteristiche del suolo che si vuole ottenere, in particolare del volume di suolo esplorabile dalle radici e delle sue caratteristiche. Nei paragrafi seguenti viene proposta una metodologia innovativa per la stima dell’acqua disponibile nel volume radicabile del suolo, che può essere utilizzata sia in fase di rilievo dei caratteri dei suoli precedenti l’impianto sia di verifica post impianto.

LA STIMA DELL’ACQUA DISPONIBILE NEL VOLUME DI SUOLO ESPLORABILE DALLE RADICI

Come è noto, per capacità di acqua disponibile del suolo, o AWC, si intende la quantità di acqua potenzialmente disponibile per le piante, corrispondente a un intervallo di valori compreso fra le cosiddette costanti idrologiche (“capacità di campo”, acqua trattenuta a tensioni di potenziale matriciale di -33 kPa o -10 kPa per i terreni sabbiosi, e “punto di appassimento”, potenziale matriciale di -1.500 kPa); tale quantità è espressa come frazione volumetrica, percentuale, o in mm mm^{-1} e, per l’intero profilo, in mm m^{-1} . Il concetto di AWC è stato introdotto con l’obiettivo di fornire agli agricoltori un criterio pratico per valutare i volumi irrigui (NRCS, 2013). Anche in coltura non irrigua, l’AWC del suolo è considerata una delle qualità principali, essendo funzionale a tutte le valutazioni di attitudine dei suoli e delle terre sia in campo agricolo-forestale, sia ambientale (Costantini, 2006). La misura dell’AWC può essere fatta in modo diverso, ma il metodo più comune è quello di la-

boratorio, con letto di sabbia ed estrattori a pressione (piastra di Richards) (Costantini et al., 2015). L'AWC può anche essere stimata sulla base di relazioni con la tessitura del suolo, anche se l'acqua trattenuta dal suolo alla tensione corrispondente alla cosiddetta "capacità di campo" dipende dalla macroporosità, quindi dalla struttura oltre che dalla tessitura del suolo (Cas-sel e Nielsen, 1986). Valori normali unitari di AWC nei suoli agricoli variano tra il 5 e il 25% in volume (0,05-0,25 mm mm⁻¹), a seconda della tessitura, corrispondenti a complessivi 50-250 mm m⁻¹, poiché in genere si presuppone una profondità di radicazione non limitata e si considera un metro la capacità di radicazione della maggior parte delle piante (NRCS, 2013). Una stima più accurata però non può ignorare che l'acqua effettivamente disponibile per l'assorbimento radicale e l'evapotraspirazione delle piante dipende anche da altri fattori. Anzitutto dalla profondità di effettiva radicazione potenziale, cioè dalla distanza dalla superficie di un orizzonte o strato impedente la penetrazione radicale, ad esempio, un substrato consolidato, un orizzonte pedogeo-netico cementato o molto ricco di sali, la falda idrica. C'è poi da considerare la quantità di scheletro (e il suo stato di alterazione) presente negli orizzonti del profilo; infine va stimata la frazione del volume del suolo esplorabile dalle radici, cioè la parte del suolo effettivamente penetrabile dalle radici. Infatti, gli orizzonti del profilo sono attraversabili dalle radici solo dove la macropo-rosità lo consente, mentre le zone più compatte, dominate dalla microporo-sità, rimangono pressoché prive di radici. È inoltre importante rilevare se la macroporosità è interconnessa oppure isolata, come nel caso degli orizzonti a fragipan dove, seppur presente, non è raggiungibile dalle radici (Ajmone Marsan et al., 1994).

La capacità di radicazione potenziale effettiva di un suolo è quindi stima-bile attraverso la somma dei valori risultanti dalla seguente funzione:

$$R_c = R_d \times (1 - S_t) \times (1 - C_l)$$

dove R_c (*rooting capacity*) è il volume di radicazione potenziale, R_d (*ro-oting depth*) è la profondità di radicazione fino a uno strato impedente, S_t (*stoniness*) è il volume del suolo occupato da pietre non alterate o porose e C_l (*clodiness*) è la zollosità che limita la radicabilità, cioè la frazione del volume del suolo che non è penetrabile dalle radici perché compatto o massivo.

In valori numerici, R_c viene espresso in volume unitario (mm), R_d è la profondità in mm, S_t e C_l sono l'equivalente in mm del volume percentuale della massa occupata dalle pietre e dal volume non radicabile del suolo. Ove

il profilo di suolo fosse costituito da orizzonti disomogenei, il calcolo andrà fatto per ogni singolo orizzonte.

Per il calcolo di R_c , e di conseguenza dell'acqua disponibile complessiva del suolo, il parametro di più difficile stima è certamente Cl . In letteratura sono presenti alcuni riferimenti che possono essere seguiti a tale scopo. Il servizio del suolo degli Stati Uniti ha elaborato una relazione empirica che indica i valori di densità apparente del suolo che limitano la crescita delle piante, in funzione sia della tessitura sia della struttura del suolo (Daddow e Warrington, 1983). Sempre il servizio del suolo americano ha prodotto un modello e un software per la stima dei principali parametri idrologici del suolo, tra cui l'AWC, che considera la tessitura, la quantità di scheletro, la compattezza, la salinità e il contenuto di materia organica, ma non la radiceabilità (NRCS, 2013).

Un approccio diverso è quello proposto da Dexter (2004), che utilizza l'indice S , denominato "Indice di qualità fisica del suolo", derivato dalla pendenza della curva tensione-volume idrico. Il valore soglia di $S = 0,035$ corrisponde al confine tra buona e scarsa qualità fisica del suolo e anche tra massa penetrabile e non dalle radici delle piante. Il valore soglia di S ha per ogni classe tessiturale del suolo un corrispondente valore della densità apparente. Ancora, Pagliai e Vignozzi (2002) utilizzano l'approccio micromorfometrico per quantificare la macroporosità e caratterizzare la qualità del suolo. Al di sotto di valori del 10% di macroporosità (pori di diametro superiore ai 50 μm) i suoli si classificano come compatti e difficilmente penetrabili dalle radici. Infine, Ball e collaboratori (2007) propongono una valutazione in campo della qualità strutturale del suolo, tramite classi attribuite con tavole di riferimento, a cui è possibile assegnare valori percentuali di radiceabilità del suolo.

UN ESEMPIO DI CALCOLO DELL'AWC NEL SUOLO RADICABILE

Si riporta di seguito un esempio di calcolo con la metodologia proposta per un suolo viticolo di Montepulciano (profilo MPULC 01, fig. 2). Il suolo si è evoluto da sedimenti limoso argillosi del Pliocene marino, ma è stato profondamente influenzato dalla pedotecnica seguita per la preparazione della superficie d'impianto. Questa ha previsto il livellamento della superficie originale con l'asportazione quasi completa del suolo preesistente tramite bulldozer e la successiva aratura fino a circa 600 mm di profondità. Il suolo risultante è di tessitura argilloso limosa lungo tutto il profilo, molto povero di sostanza organica, calcareo, privo di scheletro e presenta due orizzonti

principali. Il primo, che deriva dalle lavorazioni di scasso (Ap), è profondo fino a circa 600 mm, si mostra compatto, con struttura poliedrica angolare e prismatica poco sviluppata, di dimensione grossolana, consistenza resistente e densità apparente di $1,5 \text{ g cm}^3$. L'Ap sovrasta l'orizzonte Cg, poco pedogenizzato, idromorfo, non strutturato e molto resistente, ma con sottili fessure che penetrano nel substrato, con densità apparente di $1,7 \text{ g cm}^3$. La quantità di radici è bassa in tutto il profilo, ma nel primo orizzonte le radici delle viti si sviluppano principalmente in modo suborizzontale e sono in quantità inferiore a 10 ogni 100 cm^2 , nel Cg sono solo occasionali e seguono verticalmente le fessure fino a circa 1500 mm di profondità.

L'AWC del suolo corrispondente a tale tessitura, densità, compattezza, salinità e sostanza organica è, secondo il NRCS (2013), di $0,13 \text{ mm mm}^{-1}$. Considerando la profondità standard di un metro, l'AWC complessiva corrisponde a 130 mm. Se si valutano però la profondità del suolo, la radicabilità degli orizzonti e la profondità radicabile la stima cambia nel modo seguente:

- orizzonte Ap:
 spessore = 600 mm (Rd)
 pietrosità assente: $St = 0$
 radicabilità limitata: $Cl^1 = 0,5$, cioè il 50% del volume dell'orizzonte, a causa della struttura poco sviluppata, consistenza resistente ed elevata densità apparente
 capacità di radicazione $Rc = Rd \times (1 - Cl) = 300 \text{ mm}$
 $AWC = 300 \text{ mm} \times 0,13 \text{ mm mm}^{-1} = 39 \text{ mm}$
- orizzonte Cg: radicabilità potenziale pressoché assente (inferiore al 10% della massa).

La capacità di acqua disponibile totale del suolo corrisponde quindi a soli 39 mm, valore ben diverso dai 130 mm stimati con la metodologia americana.

LA RISPOSTA VEGETO PRODUTTIVA

Seguendo la metodologia proposta, la stima dell'acqua potenzialmente disponibile per le piante è molto più accurata e più corrispondente alla risposta

¹ Stimata utilizzando il metodo della valutazione di campo (Ball et al., 2007) e della densità apparente (Daddow e Warrington, 1983).

vegeto-produttiva delle piante, che appare fortemente ridotta. In effetti, secondo i comuni schemi di valutazione del rischio di deficit idrico, dipendente dai valori di AWC del suolo, il primo metodo di valutazione fa ricadere il suolo nella classe di rischio “moderato”, il secondo “molto forte” (Costantini, 2006). In una prova di quattro anni svolta sui suoli di Montepulciano, il monitoraggio del contenuto idrico ha effettivamente indicato la presenza in questa tipologia di suoli di un lungo periodo estivo di bassi valori, corrispondenti a un deficit idrico prolungato per la vite, al quale ha corrisposto una risposta produttiva media pluriennale significativamente più ridotta di quella ottenuta da suoli su stessa litologia, ma con AWC compresa sia tra 100 e 150 mm sia tra 150 e 200 mm. La risposta enologica è risultata mediamente buona, ma molto dipendente dall’andamento climatico dell’annata, con l’ottenimento di mosti troppo zuccherini, di bassa acidità e squilibrati nella composizione fenolica e aromatica nelle annate più siccitose (Costantini et al., 1996).

La metodologia adottata per progettare il nuovo vigneto quindi ha prodotto in questo caso dei suoli poco resilienti e molto sensibili al rischio di deficit idrico. Nella scelta del tipo di intervento che è stato realizzato ha pesato molto la conoscenza approssimativa della natura del suolo e della geologia. Infatti, il sedimento limoso argilloso sul quale si è operato viene localmente denominato “mattaione gentile”, che viene differenziato dal cosiddetto “mattaione” vero. Nel secondo caso si intendono i sedimenti argillosi e compatti, corrispondenti alla formazione geologica delle “argille azzurre” marine, mentre il mattaione gentile è più limoso e più facilmente lavorabile e viene incluso nella cartografia geologica all’interno della formazione delle sabbie marine. Si è quindi operato non considerando adeguatamente la natura dei suoli e sedimenti interessati all’impianto e non valutando le conseguenze della operazione di scasso, facendo affidamento sulla capacità della lavorazione profonda di creare comunque un ambiente sufficientemente favorevole alla crescita delle viti. Con un rilevamento di precisione delle caratteristiche dei suoli prima dell’impianto sarebbe stato possibile dimensionare in modo differenziato e più accurato gli interventi di scasso, livellamento e ridistribuzione del materiale terroso, in modo da assicurare migliori qualità idrologiche ai suoli risultanti (Priori et al., 2018).

CONCLUSIONI

Il rischio di siccità ed alluvioni è destinato ad aumentare nel prossimo futuro per il cambiamento climatico in corso. Entrambi saranno esacerbati dall’ero-



Fig. 2 Profilo di un suolo in un vigneto di Montepulciano (SI) risultante dalle operazioni di scasso e livellamento superficiale eccessivo. Da notare i piani di fessurazione del sedimento grigiastro-bluastro ove penetrano occasionalmente le radici delle viti, evidenziati da colorazioni ocra e screziature rossastre, indicatrici di processi di ossidoriduzione a carico del ferro e sua mobilizzazione e riprecipitazione (idromorfia). Questi processi sono causati dal ristagno idrico superficiale dovuto alla scarsa permeabilità del substrato, localmente denominato “mat-taione gentile”

sione del suolo, spesso accelerata dall'azione dell'uomo, quando questa non sia guidata da una adeguata "coscienza sistematoria". Una gestione del suolo accurata può ridurre il rischio idrogeologico e quello climatico, ma la realtà agricola attuale è a volte caratterizzata da uno sfruttamento delle risorse naturali intensivo e non sostenibile, nonostante siano possibili varie soluzioni per conciliare la difesa del suolo con la gestione agricola e forestale moderna, prodotte da numerosi studi e ricerche e anche in parte recepite dalle direttive europee e nazionali. In questo senso però la tematica dell'impiantistica delle colture arboree specializzate è ancora poco trattata. Nella maggior parte dei casi i movimenti di terra durante le operazioni di preimpianto non sono adeguati alle caratteristiche dei suoli originali e non considerano quelle dei suoli che si andranno a ottenere. Il risultato è un tasso di erosione spesso assolutamente non tollerabile, sia nelle fasi di impianto sia in quelle immediatamente successive. Anche la risposta vegeto-produttiva della coltura può risultare insoddisfacente, perché in suoli molto erosi e con scarsa capacità di trattenuta idrica la pianta è più soggetta a subire un deficit idrico accentuato e a una bassa resa. Ma anche la qualità dei prodotti può essere pregiudicata. Nel caso della produzione di uva da vino, ad esempio, il forte deficit idrico induce una maturazione troppo anticipata, la quale causa uno squilibrio tra la maturazione tecnologica e quella polifenolica ed aromatica (Poni et al., 2018). Vi è dunque la necessità di mettere a punto tecniche di sistemazione idraulico agraria e di gestione del suolo compatibili con le necessità degli agricoltori, ma che assicurino anche la sostenibilità agronomica e ambientale degli interventi.

Una di queste è la pedotecnica di precisione, cioè la realizzazione di interventi di manipolazione del suolo prima di un nuovo impianto non uniformi e generalizzati, ma variabili in funzione delle proprietà dei suoli preesistenti e di quelle dei suoli che si intendono ottenere. Lavorazioni profonde, livellamenti, riporti di terra, concimazioni di fondo e correzioni del suolo, oltre alle sistemazioni idraulico-agrarie, dovrebbero essere accuratamente progettate da uno specialista con formazione specifica e coadiuvate da opportuni sistemi informatici di supporto alle decisioni².

Tra le proprietà del suolo da considerare accuratamente vi è in primo luogo la capacità di acqua potenzialmente disponibile per le piante, per la sua preminente funzionalità agronomica e ambientale. Tale qualità del suolo dovrebbe essere dimensionata in funzione dell'obiettivo agronomico ed ecosi-

² Vedi ad esempio quelli realizzati nei seguenti progetti: www.goprosit.it e <https://www.horta-srl.it/portfolio-item/vite-net/>.

stemico della coltura e andrebbe considerata facendo riferimento al volume di suolo esplorabile dalle radici, considerando cioè la radicabilità del suolo stesso. Il metodo di calcolo della capacità di radicazione del suolo presentato in questa sede potrebbe essere importante non solo per la stima dell'AWC e della "green water", ma anche per altre funzionalità del suolo, quali la stima della disponibilità di nutrienti, della capacità depurativa, della capacità di stoccaggio del carbonio.

La metodologia proposta ha comunque necessità di ulteriori indagini e verifiche. Infatti, la stima della radicabilità del suolo non è ancora una metodologia routinaria, sebbene esistano alcune esperienze di riferimento per la stima di campo e l'analisi di laboratorio, e ha bisogno di essere affinata e testata in diverse situazioni pedologiche e colturali.

RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia gli amici e colleghi dott. Sergio Pellegrini e dott.ssa Nadia Vignozzi, del CREA-Centro di ricerca agricoltura e ambiente di Firenze, e il prof. Simone Priori, dell'Università della Tuscia, per la preziosa discussione degli argomenti e gli utili suggerimenti forniti.

RIASSUNTO

Il cambiamento climatico in corso porterà a un notevole aumento del rischio di siccità e alluvioni, particolarmente nella regione mediterranea. L'erosione del suolo, con la conseguente perdita di qualità fisiche e idrologiche, è destinata a esacerbare il rischio idrogeologico, con conseguenze per ora non adeguatamente considerate dalla legislazione italiana ed europea. Le perdite di suolo per erosione sono spesso accelerate dall'azione dell'uomo, soprattutto nei suoli agricoli più intensamente coltivati, quando si viene a perdere la "coscienza sistematoria". In questa sede si fa specifico riferimento allo scadimento della funzionalità idrologica del suolo causata da operazioni inaccurate precedenti l'impianto delle colture arboree specializzate. Oltre a provocare ripercussioni negative sul risultato agronomico, essa può determinare un aumento considerevole dei deflussi nei bacini idrografici con conseguente aumento dei deflussi e del rischio di alluvioni. Il contrasto alla degradazione del suolo può avvenire con la diffusione della "pedotecnica di precisione", volta a dimensionare gli interventi precedenti l'impianto di una coltura in funzione delle caratteristiche dei suoli originali e di quelle dei suoli "obiettivo".

Viene proposta una metodologia innovativa per la stima della capacità di trattenuta di acqua disponibile per le piante nel suolo, che tenga conto del volume effettivamente esplorabile dalle radici. La correzione della stima del valore di capacità di acqua potenzialmente disponibile secondo la radicabilità del suolo aumenta la sua correlazione con la fenologia della pianta e la risposta agronomica ed è particolarmente utile in sede di

progettazione delle operazioni da effettuarsi prima dell'impianto delle colture arboree specializzate.

ABSTRACT

The ongoing climate change will lead to a significant increase in the risk of drought and floods, particularly in the Mediterranean region. Soil erosion, with the consequent loss of physical and hydrological qualities, is destined to exacerbate the hydrogeological risk, with consequences for now not adequately considered by Italian and European legislation. Soil losses due to water erosion are often accelerated by human activities, especially in the most intensely cultivated agricultural soils, whenever the culture of soil and water conservation is lost. In this work, specific reference is made to the deterioration of soil hydrological functionality caused by inaccurate operations before the planting of specialized tree crops. In addition to causing negative repercussions on the agronomic result, it can cause a considerable increase in runoff in drainage basins, with a consequent increase in outflows and risk of floods. The contrast to soil degradation can occur with the spread of "precision pedotechnics", aimed at sizing the interventions prior to the planting of a tree crop according to the characteristics of the original soils and those of the "target" soils.

An innovative method is proposed for estimating the soil available water holding capacity, which considers the actual rooting capacity. The correction of the value of available water holding capacity according to soil rooting capacity increases its correlation with plant phenology and the agronomic result and it is particularly useful when planning the operations to be carried out before the planting of specialized tree crops.

BIBLIOGRAFIA CITATA

- AJMONE MARSAN F., PAGLIAI M., PINI R. (1994): *Identification and properties of fragipan soils in the Piemonte region of Italy*, «Soil Science Society of America Journal», 58 (3), pp. 891-900.
- BALL B.C., BATEY T., MUNKHOLM L.J. (2007): *Field assessment of soil structural quality – a development of the Peirlkamp test*, «Soil use and Management», 23 (4), pp. 329-337.
- BASILE A., MELE G., TERRIBILE F. (2003): *Soil hydraulic behaviour of a selected benchmark soil involved in the landslide of Sarno 1998*, «Geoderma», 117 (3-4), pp. 331-346.
- BAZZOFFI P. (2009): *Soil erosion tolerance and water runoff control: minimum environmental standards*, «Regional Environmental Change», 9 (3), pp. 169-179.
- BAZZOFFI P., PELLEGRINI S., STORCHI P., BUCELLI P., ROCCHINI A. (2009): *Impact of land levelling on soil degradation, vineyard status and grape quality*, «Progrès Agricoles et Viticoles», 126 (11), pp. 266-271.
- CASSEL D.K., NIELSEN D.R. (1986): *Field capacity and available water capacity*, in *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, pp. 901-926.
- CERDAN O., GOVERS G., LE BISSENAIS Y., VAN OOST K., POESEN J., SABY N., GOBIN A., VACCA A., QUINTON J., AUERSWALD K., KLIK A., KWAAD F.J.P.M., RACLOT D., IONITA I., REJMAN J., ROUSSEVA S., MUXART T., ROXO M.J., DOSTAL T. (2010): *Rates*

- and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data*, «Geomorphology», 122, pp. 167-177.
- CHISCI G., MORGAN R.P.C. (1986): *Soil erosion in the European Community* (1st ed.), CRC Press, p. 248.
- COCCO S., CARDELLI V., CORTI G., SERRANI D., RAFAEL R.B.A., DAZZI C., PAPA G.L. (2020): *Role of land set-up systems on soil (physicochemical) conditions*, «Italian Journal of Agronomy», 15 (4), pp. 267-280.
- CORTI G., COCCO S., BRECCIAROLI G., AGNELLI A., SEDDAIU G. (2013): *Italian soil management from antiquity to nowadays*, in *The soils of Italy*, Springer, Dordrecht, pp. 247-293.
- COSTANTINI E.A.C. (Ed.) (2006): *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale, Cantagalli, Siena, pp. 922.
- COSTANTINI E.A.C., BARBETTI R. (2008): *Environmental and Visual Impact Analysis of Viticulture and Olive Tree Cultivation in the Province of Siena (Italy)*, «Europ. J. Agronomy», 28, pp. 412-426.
- COSTANTINI E.A.C., CAMPOSTRINI F., ARCARA P.G., CHERUBINI P., STORCHI P. AND PIERRUCCI M. (1996): *Soil and climate functional characters for grape ripening and wine quality of "Vino Nobile di Montepulciano"*, «Acta Hort.», 427, pp. 45-55.
- COSTANTINI E.A.C., CASTALDINI M., DIAGO M.P., GIFFARD B., LAGOMARSINO A., SCHROERS H.J., PRIORI S., VALBOA G., AGNELLI A.E., AKÇA E., D'AVINO L., FULCHIN E., GAGNARLI E., KIRAZ M.E., KNAPIĆ M., PELENGIĆ R., PELEGRINI S., PERRIA R., PUCCIONI S., SIMONI S., TANGOLAR S., TARDAGUILA J., VIGNOZZI N., ZOMBARDO A. (2018): *Effects of soil erosion on agro-ecosystem services and soil functions: A multidisciplinary study in nineteen organically farmed European and Turkish vineyards*, «Journal of environmental management», 223, pp. 614-624.
- COSTANTINI E.A.C., FANTAPPIÉ M., L'ABATE G. (2013): *Climate and pedoclimate of Italy*, in *The soils of Italy*, Springer, Dordrecht, pp. 19-37.
- COSTANTINI E.A.C., LORENZETTI R. (2013): *Soil degradation processes in the Italian agricultural and forest ecosystems*, «Italian Journal of Agronomy», 8 (4), art. no. e28, pp. 233-243.
- COSTANTINI E.A.C., PELLEGRINI S., PRIORI S., VIGNOZZI N. (2015): *Il monitoraggio dello stato idrico del suolo*, in *L'acqua in agricoltura*, Edagricole, Bologna, pp. 171-195.
- COSTANTINI E.A.C., SULLI L. (2000): *Land evaluation in areas with high environmental sensitivity and qualitative value of the crops: the viticultural and olive-growing zoning of the Siena province*, «Boll. SISS», 49 (1-2), pp. 219-234.
- DADDOW R.L., WARRINGTON G. (1983): *Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture*, USDA Forest Service, p. 17.
- DAZZI C., GALATI A., CRESCIMANNO M., PAPA G.L. (2019): *Pedotechnique applications in large-scale farming: Economic value, soil ecosystems services and soil security*, «Catena», 181, 104072.
- DEXTER A.R. (2004): *Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth*, «Geoderma», 120 (3-4), pp. 201-214.
- FALKENMARK M., ROCKSTRÖM J. (2006): *The new blue and green water paradigm*, Breaking new ground for water resources planning and management, pp. 129-132.
- FALLOON P., BETTS R. (2010): *Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation – the importance of an integrated approach*, «Science of the Total Environment», 408, pp. 5667-5687.

- FANNING D.S., FANNING M.C.B. (1989): *Soil morphology, genesis and classification*, John Wiley and Sons Inc.
- FANTAPPIÈ M., L'ABATE G., COSTANTINI E.A.C. (2010): *Factors influencing Soil Organic Carbon Stock Variations in Italy during the Last Three Decades*, in P. Zdruli et al. (eds.), *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation*, Springer, pp. 435-465. doi 10.1007/978-90-481-8657-0_34.
- FANTAPPIÈ M., L'ABATE G., COSTANTINI E.A.C. (2011): *The influence of Climate Change on the Soil Organic Carbon Content in Italy from 1979 to 2008*, «Geomorphology», 135, pp. 343-352.
- FANTAPPIÈ M., LORENZETTI R., DE MEIO I., COSTANTINI E.A. (2020): *How to improve the adoption of soil conservation practices? Suggestions from farmers' perception in western Sicily*, «Journal of Rural Studies», 73, pp. 186-202.
- GARCÍA-ORENES F., CERDÀ A., MATAIX-SOLERA J., GUERRERO C., BODÍ M.B., ARCENEGUI V., SEMPERE J.G. (2009): *Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain*, «Soil and Tillage Research», 106 (1), pp. 117-123.
- KOCH A., McBRATNEY A., ADAMS M., FIELD D., HILL R., CRAWFORD J., ANGERS D. (2013): *Soil security: solving the global soil crisis*, «Global Policy», 4 (4), pp. 434-441.
- KOVATS R.S., VALENTINI R., BOUWER L.M., GEORGIOPOULOU E., JACOB D., MARTIN E., ROUNSEVELL M., SOUSSANA J.-F. (2014): *Europe*, in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA pp. 1267-1326.
- LAL R. (2010): *Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security*, «Bioscience», 60, pp. 708-712.
- LAL R. (2013): *Food security in a changing climate*, «Ecohydrology & Hydrobiology», 13 (1), pp. 8-21.
- MARANDOLA D., BELLIGGIANO A., ROMAGNOLI L., IEVOLI C. (2019): *The spread of no-till in conservation agriculture systems in Italy: indications for rural development policy-making*, «Agricultural and food economics», 7 (1), p. 7.
- MARTÍNEZ CASASNOVAS J. A., CONCEPCION RAMOS M. (2009): *Soil alteration due to erosion, ploughing and levelling of vineyards in north east Spain*, «Soil use and management», 25 (2), pp. 183-192.
- NRCS (2013): *Procedure for making known moisture soil samples for irrigation water management purposes*, Soil Technical Note 1 USDA, Portland, Oregon. [Online] https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download?cid=nrcse-prd803007&ext=pdf
- PAGLIAI M., VIGNOZZI N. (2002): *The soil pore system as an indicator of soil quality*, «Advances in GeoEcology», 35, pp. 69-80.
- PAGLIAI M. (2009): *Conoscenza, conservazione e uso sostenibile del suolo: aspetti fisici e morfologici*, «Ital J Agron», 3, pp. 151-160.
- PANAGOS P., BORRELLI P., POESEN J., BALLABIO C., LUGATO E., MEUSBURGER K., ALEWELL C. (2015): *The new assessment of soil loss by water erosion in Europe*, «Environmental science & policy», 54, pp. 438-447.
- PELLEGRINI S., AGNELLI A.E., ANDRENELLI M.C., BARBETTI R., PAPA G.L., PRIORI S., COSTANTINI E.A.C. (2018): *Using present and past climosequences to estimate soil organic carbon and related physical quality indicators under future climatic conditions*, «Agriculture, Ecosystems & Environment», 266, pp. 17-30.

- PIMENTEL D., BURGESS M. (2013): *Soil erosion threatens food production*, «Agriculture», 3 (3), pp. 443-463.
- POESEN J. (2018): *Soil erosion in the Anthropocene: Research needs*, «Earth Surface Processes and Landforms», 43, pp. 64-84.
- PONI S., GATTI M., PALLIOTTI A., DAI Z., DUCHÊNE E., TRUONG T.T., MENCARELLI F. (2018): *Grapevine quality: A multiple choice issue*, «Scientia horticultrae», 234, pp. 445-462.
- PRIORI S., L'ABATE G., FANTAPPIÈ M., COSTANTINI E.A.C. (2018): *Mapping soil spatial variability at high detail by proximal sensors for a vineyard planning*, «EQA-Environmental quality», 30, pp. 9-15.
- SHARP-HEWARD S., ALMOND P., ROBINSON B. (2014): *Soil disturbance and salinisation on a vineyard affected by landscape recontouring in Marlborough, New Zealand*, «Catena», 122, pp. 170-179.
- TERRIBILE F., BASILE A., BONFANTE A., CARBONE A., COLOMBO C., LANGELLA G., VINGIANI S. (2013): *Future soil issues*, in *The soils of Italy*, Springer, Dordrecht, pp. 303-348.
- VAN OUWERKERK C., KOOLEN A.J. (1988): *Pedotechnique: a modern approach to present-day problems in soil handling and field traffic*, «Soil Technology», 1 (3), pp. 283-288.
- ZHENG-AN S.U., ZHANG J.H., XIAO-JUN N.I.E. (2010): *Effect of soil erosion on soil properties and crop yields on slopes in the Sichuan Basin, China*, «Pedosphere», 20 (6), pp. 736-746.