

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 Mastroianni, Maurizio Servili, Francesco Zecca, Massimo Gargano,  
Stefania Nuvoli, Simone Fagioli



EDOARDO A.C. COSTANTINI<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup> 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 t.ha<sup>-1</sup>anno<sup>-1</sup>) 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'innescò 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<sup>-1</sup>, mentre nelle zone di accumulo gli apporti di materiale terroso sono risultati compresi fra 7.250 e 16.320 t ha<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup> (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<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (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  $\text{mm mm}^{-1}$  e, per l’intero profilo, in  $\text{mm m}^{-1}$ . 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 (Casel 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<sup>-1</sup>), a seconda della tessitura, corrispondenti a complessivi 50-250 mm m<sup>-1</sup>, 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 pedogenetico 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 macroporosità lo consente, mentre le zone più compatte, dominate dalla microporosità, 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 stimabile 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,  $R_d$  (*rooting 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 radicabilità (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  $\mu\text{m}$ ) 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 radicabilità 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 g cm<sup>3</sup>. 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 g cm<sup>3</sup>. 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<sup>2</sup>, 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 mm mm<sup>-1</sup>. Considerando la profondità standard di un metro, l'AWC complessiva corrisponde a 130 mm. Se si valutano però la profondità del suolo, la radicabile 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<sup>1</sup> = 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 x (1-Cl) = 300 mm
  - AWC = 300 mm x 0,13 mm mm<sup>-1</sup> = 39 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

<sup>1</sup> 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 redistribuzione 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 ocre 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 decisioni<sup>2</sup>.

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-

<sup>2</sup> Vedi ad esempio quelli realizzati nei seguenti progetti: [www.goprosit.it](http://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 Peerkamp 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 BISSONNAIS 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., BRECCICIAROLI 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., PELLEGRINI 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 MEO 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., BELLIGIANO 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](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 horticulturae», 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.

MARCELLO MASTRORILLI<sup>1</sup>, VITO ROCCO DE MICHELE<sup>1</sup>

## Agricoltura e *water harvesting*

<sup>1</sup> Centro di Ricerca CREA Agricoltura e Ambiente

### INTRODUZIONE

L'agricoltura italiana ha fornito validissimi esempi di “water harvesting”: la raccolta di acqua di pioggia in serbatoi temporanei (Mastrorilli, 2017), come i laghetti collinari nel Centro Italia o le cisterne interrate nelle zone carsiche del sud (fig. 1). Questo servizio ecologico delle aziende agrarie torna di attualità in considerazione delle anomalie climatiche e soprattutto del regime delle piogge (Mastrorilli e Zucaro, 2016).

Le piogge hanno sempre più carattere “tropicale” (Biradar, 2009), ovvero sono caratterizzate da alta intensità (Giorgi e Lionello, 2008). Se l'intensità di pioggia supera la capacità di infiltrazione del suolo, si verifica il ruscellamento superficiale. Si tratta di acqua che non si accumula nel suolo e risulta “persa” per l'alimentazione idrica delle colture (Mastrorilli, 2015). Accumulata in serbatoi artificiali, l'acqua ruscellata dei terreni in pendenza contribuisce ad alleviare la siccità se ridistribuita alle colture sotto forma di acqua irrigua.

Un altro fenomeno che ricorre negli ultimi trend climatici è la diminuzione dei giorni piovosi e l'aumento della altezza di precipitazione per evento piovoso. Verosimilmente a seguito di piogge abbondanti il terreno tende a saturarsi. L'acqua che il suolo non trattiene drena negli strati più profondi. Anche in questo caso si tratta di acqua di pioggia “persa” per le colture, ma che si potrebbe accumulare nei serbatoi interrati e riutilizzare per soccorrere le colture durante i periodi di siccità.

### IL BILANCIO IDRICO A SCALA AZIENDALE

Il contenuto di acqua del suolo è un parametro dinamico. Alla scala aziendale rappresenta il bilancio tra “offerta” (precipitazioni, irrigazione, ruscellamento



Fig. 1 Esempio di un pozzo per la raccolta di acqua piovana secondo una tradizione costruttiva della Puglia

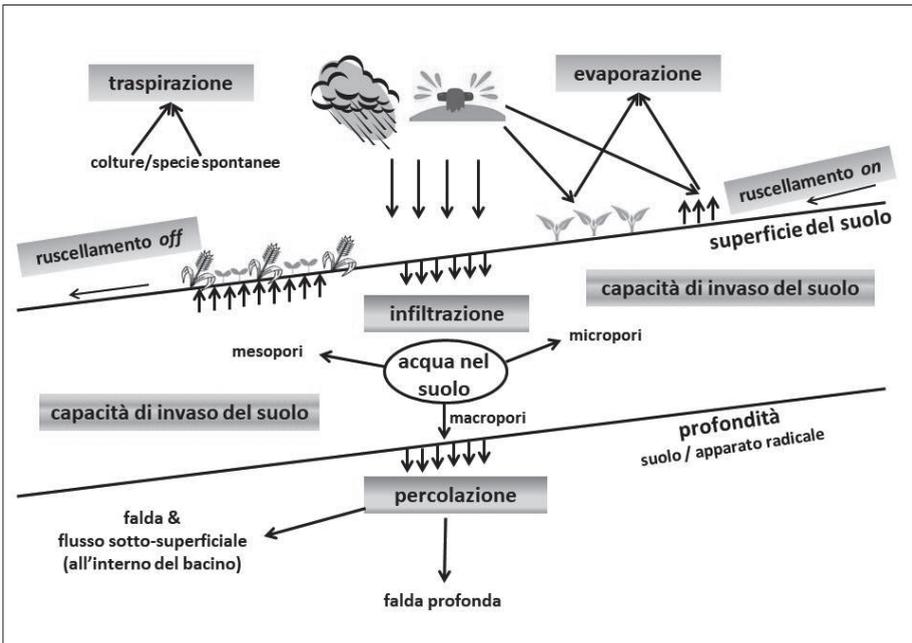


Fig. 2 Rappresentazione schematizzata del bilancio idrico a scala aziendale

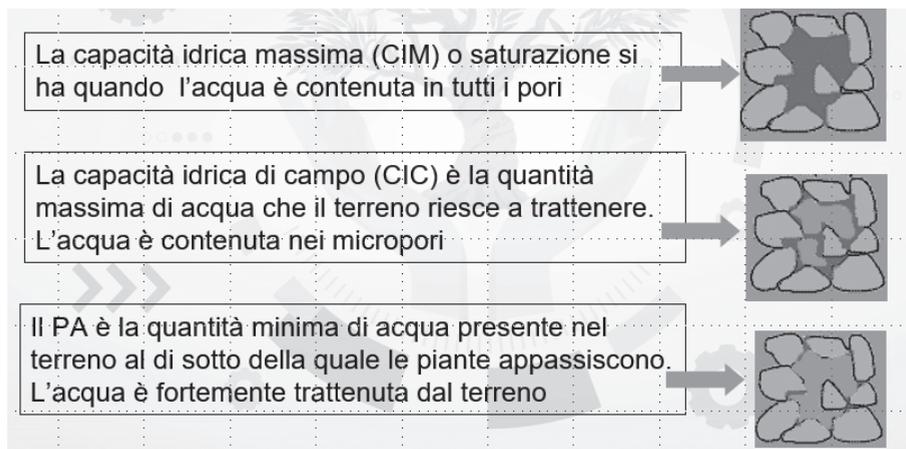


Fig. 3 I principali parametri idrologici del suolo: Capacità Idrica Massima (CIM) e di Campo (CIC) e Punto di Appassimento (PA)

superficiale, risalita capillare) e “domanda” (evapo-traspirazione) dell’acqua (fig. 2). L’eccesso di acqua (ruscellamento e percolazione), rispetto alla capacità di trattenuta del suolo, si disperde nell’ambiente.

La quantità di acqua che un terreno trattiene dipende dalla natura del terreno, in particolare da spessore e tessitura. In agronomia il volume di acqua disponibile (ovvero quella che può essere utilizzata dalle piante) si determina in funzione di tre parametri fisici: la capacità di campo, il punto di appassimento, la profondità del suolo (fig. 3).

In realtà l’acqua nel suolo è modulata dalla struttura del terreno, ovvero dall’arrangiamento spaziale delle particelle del suolo che costituiscono grumi o aggregati, in combinazione con differenti tipi di pori (micro, meso e macro-pori, secondo una scala gerarchica di aggregazione), a formare sistemi eterogenei e complessi. Micro-aggregati e macro-aggregati si formano per opera di cementi diversi a seconda del tipo di suolo. La profondità e la porosità del suolo sono soggette a variabilità sito-specifica, anche all’interno della stessa azienda.

Alla variabilità spaziale, insita nella natura di un suolo, si aggiunge quella dovuta all’azione antropica, per cui con un ossimoro la capacità del suolo di invasare acqua si potrebbe definire come una “costante modificabile”. Le modifiche sono determinate dalle pratiche agronomiche (Nielsen et al., 2005; Strudley et al., 2008). L’acqua nel suolo è invece un parametro dinamico: varia nel tempo e in 3D. L’andamento meteorologico e l’evapotraspirazione delle colture ritmano le variazioni temporali, la gestione agronomica determina le variazioni spaziali.

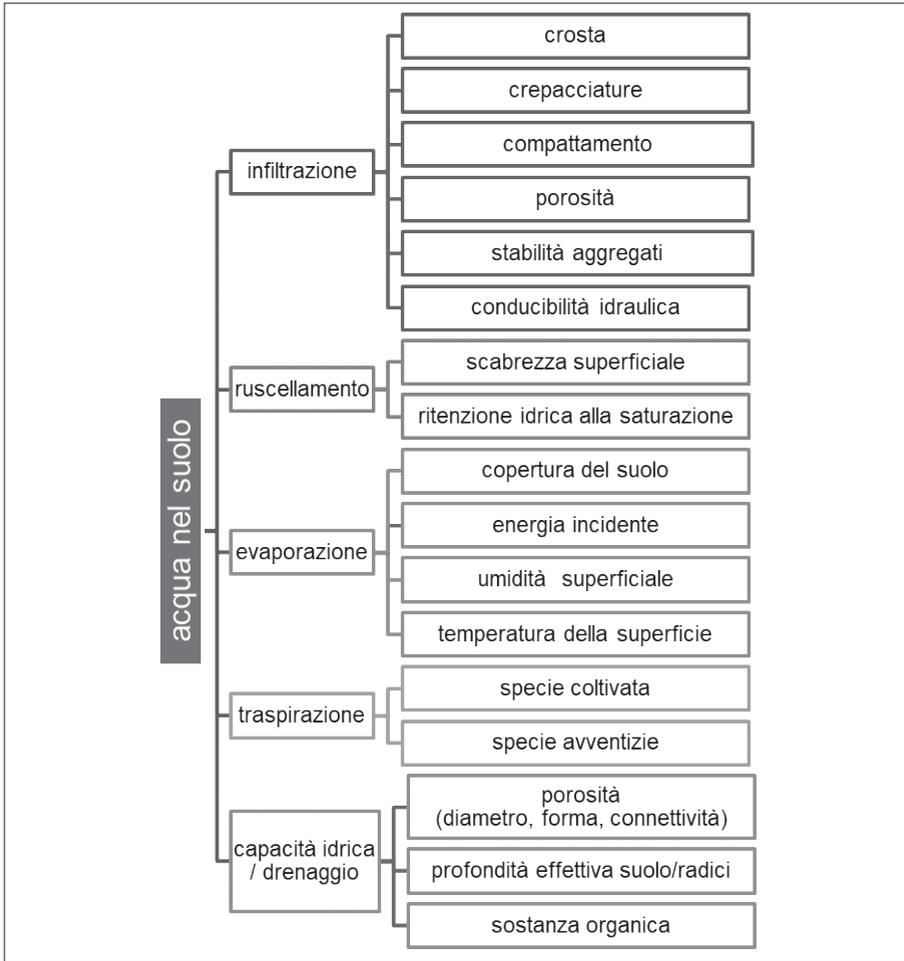


Fig. 4 Processi e parametri che determinano il contenuto di acqua nel suolo

AGROTECNICHE E BILANCIO IDRICO

Con l'adozione di adeguate pratiche di gestione del suolo, è possibile modificare la struttura del suolo, aumentare la quantità di acqua immagazzinata nel profilo del suolo, ridurre le perdite per evaporazione, migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua da parte delle colture (nella terminologia anglo-sassone *water use efficiency* – WUE – ovvero il rapporto tra la produzione agricola e il volume di acqua evapo-traspirato dalla coltura) (Angus e van Hearwardeen, 2001; Katerji et al., 2008; Lovelli et al., 2012) e infine regolare il trasferimento di acqua dalla parcella coltivata al territorio circostante l'azienda agricola.



Fig. 5 *Esempio di crosta superficiale del suolo e di crepacciature*

Per schematizzare si può ritenere che l'acqua nel suolo è il risultato dell'interazione di cinque processi: infiltrazione, ruscellamento, evaporazione, drenaggio e traspirazione (fig. 4). Ogni processo a sua volta è regolato da grandezze modificabili per effetto delle tecniche agronomiche. Ad esempio l'infiltrazione si riduce in presenza di crosta superficiale del suolo (fig. 5) e le crepacciature (fig. 5) aprono delle vie preferenziali di immagazzinamento dell'acqua (ma rappresentano anche un supplemento di superficie di suolo esposto alla evaporazione); la porosità, e in particolare la forma e la distribuzione delle dimensioni dei pori lungo il profilo del suolo, determina la distribuzione dell'acqua nel suolo (Foley e Silburn, 2002). Con le lavorazioni si rompe la crosta superficiale, si richiudono le crepe e si modifica la porosità. Certi tipi di lavorazione del suolo non proteggono la struttura degli aggregati, interrompono la connettività verticale dei pori, favoriscono l'ossidazione della sostanza organica e tendono a compattare il suolo (fig. 6).

Entro i limiti imposti da ciascun ambiente (topografia, proprietà del suolo e caratteristiche climatiche sono i principali vincoli fisici), le pratiche agricole diventano strumenti adatti per migliorare la capacità dei terreni di immagazzinare l'acqua e destinarla all'alimentazione idrica delle colture (Hatfield et al., 2001). Per aumentare la capacità di invaso di un suolo, la soluzione chiave consiste nell'eseguire pratiche di gestione che migliorano la struttura



Fig. 6 *Compattazione del suolo dovuta al traffico improprio di macchinari agricoli*

del suolo, riducono la compattazione e preservano e migliorano i livelli di sostanza organica del suolo (Hernanz et al., 2002). Ripetute nel tempo, queste pratiche agronomiche consentono di migliorare la capacità del suolo di essere “permeabile” alla pioggia (infiltrabilità o conducibilità idraulica alla superficie del suolo) e immagazzinare acqua nel suo profilo (Lipiec et al., 2006).

Due sono le alternative per migliorare l’infiltrazione: aumentare la velocità o estendere il tempo di infiltrazione. Nel primo caso la presenza di macro-porosità continua, principalmente bio-pori creati dalla macro-fauna (come quelli >2 mm che formano i lombrichi) o dai canali lasciati dalle radici a fine ciclo vegetativo, accelera la infiltrazione (fig. 7). Nel secondo caso il tempo di infiltrazione aumenta ricorrendo a idonee tecniche di lavorazione. Qualsiasi lavorazione aumenta la rugosità della superficie del terreno e sfavorisce il flusso dell’acqua sul terreno. Con lavorazioni che seguono le curve di livello, la superficie del terreno oppone maggiore resistenza allo scorrimento dell’acqua, garantendo sia il rallentamento del flusso d’acqua sia l’aumento dell’infiltrazione nel suolo e sfavorendo la formazione di flussi di ruscellamento concentrato. In ambienti collinari i terrazzamenti rappresentano l’esempio più tipico per aumentare il tempo di infiltrazione dell’acqua nel suolo, invece in campi con pendenze ridotte le arginature trasversali rivestono una funzione analoga.

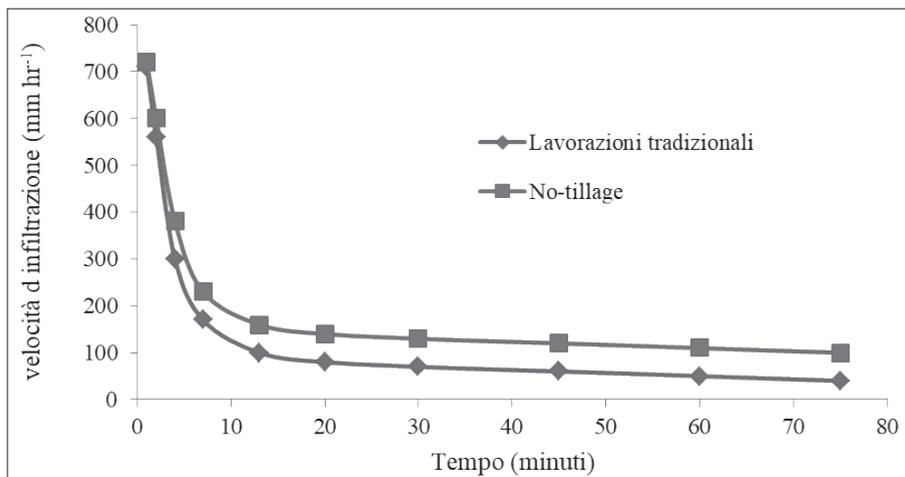


Fig. 7 Effetto della lavorazione tradizionale e non lavorazione sulla velocità di infiltrazione (da Mrabet, 2011)

Le lavorazioni da sole non bastano a migliorare il tasso di infiltrazione dell'acqua nel suolo (Alvaro-Fuentes et al., 2008). Infatti in agronomia si parla di gestione del sistema colturale, intendendo l'armonizzazione di diverse agrotecniche (López-Bellido et al., 2007). In particolare, la gestione del suolo deve contribuire anche a:

- a. proteggere la stabilità degli aggregati, evitando che gli aggregati si rompano a causa dell'energia cinetica delle gocce di pioggia (o di irrigazione) o dell'impatto meccanico degli organi di lavorazione del suolo o delle ruote dei trattori che provocano il distacco delle particelle di suolo, il compattamento e la formazione di croste (Foley e Silburn, 2002). Ciò si consegue essenzialmente aumentando il contenuto di sostanza organica nel terreno (sovescio, letamazioni, ricorso ad ammendanti, fertilizzazione organica) e riducendo il "traffico" sui campi coltivati (trattori a guida parallela, regolando la pressione nel punto di contatto tra pneumatico e suolo, e comunque preferendo i cingolati o i pneumatici a larga sezione);
- b. mantenere coperto (con la vegetazione o con i residui colturali) in modo permanente il suolo, per dissipare il carico di energia delle gocce di pioggia prima che raggiungano la superficie del suolo;
- c. interrompere gli strati di terreno impermeabili con la discissura del suolo (Sartori e Peruzzi, 1997);
- d. come strategia a lungo termine, promuovere lo sviluppo di bio-macropori orientati verticalmente. Gli apparati radicali, i lombrichi e la macrofauna



Fig. 8 *Frumento in fase di emergenza in un suolo con gestione "zero tillage"*



Fig. 9 *Esempio di suolo non disturbato*

in genere favoriscono questo tipo di porosità, in assenza di disturbi del suolo (fig. 9).

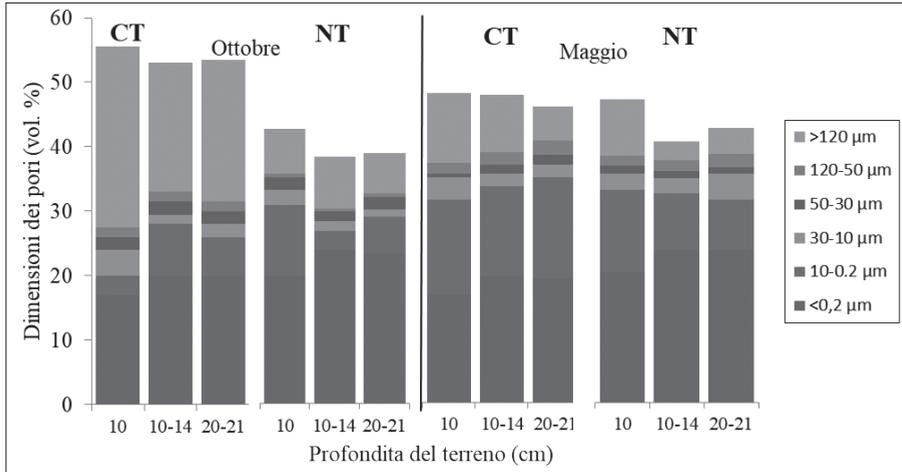


Fig. 10 Effetto delle lavorazioni conservative (NT) e tradizionali (CT) sulla dimensione dei pori nel terreno (da Pagliari, 1987). A fine di un ciclo colturale, le tecniche tradizionali, con l'azione di calpestamento delle macchine e attrezzi, riducono la porosità, in particolare, aumenta la microporosità, a scapito dei pori di dimensione maggiore

Oltre a favorire l'infiltrazione dell'acqua nel suolo, le tecniche agronomiche modulano la dinamica dell'acqua nel terreno e assicurano l'alimentazione idrica delle colture (fig. 10). L'acqua si muove per effetto della gravità (nei macro-pori) o delle forze di tensione (nei micro-pori). La quantità di acqua disponibile per la pianta dipende dalla porosità (quantità e distribuzione delle dimensioni dei pori) e dal volume del suolo esplorato dalle radici. Mentre la distribuzione delle dimensioni dei pori è fortemente influenzata dalle proprietà del suolo (tessitura, struttura e contenuto di sostanza organica), il volume totale dei pori da cui le piante estraggono l'acqua dipende dalla profondità dell'apparato radicale.

Pertanto, al fine di accrescere la quantità di acqua disponibile per le colture (ovvero la capacità di invaso del suolo), possono essere adottate pratiche specifiche di gestione per aumentare:

1) profondità di radicazione. La lavorazione verticale è in grado di rompere strati compatti del terreno (suole di lavorazione), spesso originati dal peso dei macchinari operanti in condizioni di terreno umido o da ripetute lavorazioni del terreno (Martínez et al., 2008). Sebbene siano efficaci nel rompere gli strati impermeabili nel sottosuolo (di origine naturale o antropica), gli effetti della discissura sono spesso di breve durata, specialmente se non accompagnati da ulteriori precauzioni agronomiche, come il ricorso ad ammendanti (ad esempio gesso), sovescio, "primer crops", specie colonizzatrici



Fig. 11 Esempio di "living mulch" (tecnica di "flattering" di graminacee, effettuata con "roller crimper")

(Kirkegaard, 1994; Fageria et al., 2014), e la riduzione del traffico di mezzi agricoli sulla superficie del suolo;

2) percentuale di meso e macro-pori. Le arature arieggiano il suolo, rendendolo soffice: in pratica uno degli effetti delle lavorazioni è l'aumento del volume dei macro-pori nello strato lavorato (Castellini e Ventrella, 2012). Il risultato dipende da molteplici fattori, fra cui lo stato idrico del suolo (Keller et al., 2007). La lavorazione del terreno umido (vicino alla capacità del campo) è la prima causa di compattazione del suolo (e perdita di meso-macro-porosità). In alternativa, la gestione "conservativa" ha come obiettivo la conservazione della struttura del terreno e si ottiene riducendo le lavorazioni meccaniche o non facendole (sistemi di gestione "no-till"). In questo caso non si disturba il suolo e vengono preservati macro-pori e gli spazi tra le unità strutturali del suolo (De Vita, et al., 2007; Mrabet, 2011). I risultati conseguibili con l'aratura tradizionale vengono demandati agli organismi viventi che operano una sorta di "bio-lavorazione" (Rasmussen, 1999). Questo è il caso dei lombrichi che scavano micro-gallerie o dei canali radicali, provenienti dalla decomposizione delle radici morte, che mettono in contatto idraulico gli orizzonti A e B del profilo del terreno. I bio-pori efficacemente agevolano la percolazione profonda, mentre qualsiasi tipo di lavorazione meccanica alla superficie del terreno non ha effetti sul drenaggio profondo.

La gestione conservativa del suolo, oltre a favorire il movimento dell'acqua nel suolo e lo sgrondo delle acque in eccesso col drenaggio, permette un

maggior accumulazione di acqua nel suolo. La presenza dei residui colturali sulla superficie del suolo (fig. 11) riduce le perdite improduttive di acqua del suolo per evaporazione (Alvarez e Steinbach, 2009). Specialmente in condizioni di elevata domanda di evaporazione, il “living mulch” influenza considerevolmente l’acqua disponibile nel suolo riducendo l’evaporazione (O’Leary e Connor, 1997). Un risultato analogo si ottiene in realtà anche con le lavorazioni: dopo l’erpatura lo strato superficiale di terreno si asciuga, creando una barriera (“soil mulch”) che interrompe la capillarità ed evita l’evaporazione dagli strati sottostanti (Cavazza, 1980). In condizioni di gestione “no-till” non si interrompe meccanicamente la capillarità, ma i residui colturali fungono da barriera contro l’evaporazione (Ward, 2009).

#### BILANCIO IDRICO TRA BUONE PRATICHE E RICERCA AGRONOMICA

Le agrotecniche per regolare il bilancio idrico dei suoli mirano da una parte ad aumentare la capacità di invaso (agendo sulla profondità di radicazione e la dimensione dei pori) e dall’altra alla riduzione del deflusso e dell’evaporazione (Caliandro e Catalano, 1991; Giardini, 2004).

Gli agricoltori, soprattutto olivicoltori e cerealicoltori, sono sempre più consapevoli dei vantaggi derivanti dalla gestione conservativa del suolo (che si basa su due principi: minimo disturbo e copertura permanente del suolo) nel migliorare la disponibilità di acqua del suolo e, allo stesso tempo, nel regolare il bilancio idrico (Martínez et al., 2008). Tuttavia il trasferimento dei principi teorici di agricoltura conservativa alla pratica aziendale è rallentato dalla assenza sul mercato di specifici macchinari (progettati espressamente per le dimensioni delle aziende agricole italiane, nonché per le specificità topografiche del territorio italiano) e agro-farmaci (per la gestione integrata delle specie avventizie).

Gli studi agronomici hanno dimostrato i limiti dell’agricoltura conservativa, soprattutto in terreni argillosi in condizioni climatiche umide o sub-umide e con colture che lasciano elevate quantità di residui colturali (Holland, 2004). Oltre agli studi “on farm”, la ricerca agronomica utilizza approcci modellistici per valutare l’effetto sul bilancio idrico di diverse agrotecniche, in funzione del tipo di gestione del suolo, dell’uso del suolo, dell’andamento meteorologico o degli scenari climatici.

Ruscellamento e drenaggio sono due termini del bilancio idrico che, se estrapolati dalla scala aziendale, rappresentano importanti eco-servizi idrologici che le aziende agrarie forniscono al territorio. I modelli di sistemi col-

turali quantificano i volumi di acqua ruscellata o drenata che una azienda restituisce ai corpi idrici naturali o ai bacini artificiali. Una volta quantificata l'acqua "prodotta" dall'azienda, il valore economico dell'eco-servizio si determina inequivocabilmente (Mastrorilli et al., 2018) e dovrebbe essere riconosciuto agli agricoltori che adottano quelle buone pratiche che influenzano il bilancio idrico e favoriscono la raccolta di acqua dalla superficie aziendale verso i bacini di accumulo.

#### RIASSUNTO

L'uso sostenibile dell'acqua è un tema frequente nella letteratura tecnica e scientifica internazionale. Particolare enfasi viene data al "Water harvesting". Le scale di interesse sono amplissime, dal tetto delle case al bacino idrologico.

Le superfici più estese, come i suoli agrari, invece, vengono generalmente ignorate, nonostante le potenzialità dei suoli di fungere da serbatoio per trattenere acqua piovana. A parte il regime termo-pluviometrico e le caratteristiche pedologiche, la gestione agronomica del sistema colturale determina il volume di acqua nel suolo. Le proprietà fisico-idrologiche del suolo modulate dalle pratiche agronomiche sono: spessore e alternanza di strati; struttura, porosità e stabilità degli aggregati; conducibilità idraulica; scabrezza superficiale.

Le anomalie climatiche rendono l'acqua di pioggia meno efficace dal punto di vista agronomico e producono ruscellamento e drenaggio con maggiore frequenza.

L'acqua di pioggia che non viene trattenuta dal suolo non deve essere considerata una perdita. Al contrario è una risorsa che, seguendo la via del ruscellamento o del drenaggio, alimenta i serbatoi artificiali. L'agricoltura italiana ha fornito validissimi esempi di "water harvesting" (laghetti collinari nel Centro Italia o cisterne interrato nelle zone carsiche del Sud) corredati da buone pratiche agronomiche e aziendali per ripartire le voci del bilancio idrico. Questa tradizione italiana, rivisitata alla luce delle conseguenze del riscaldamento globale e degli aggiornamenti scientifici, è la base per progettare reti supplementari di serbatoi diffusi sul territorio a integrazione delle risorse idriche dei grandi invasi.

L'alimentazione idrica di questi serbatoi è favorita dalle aziende agrarie che, ripristinando le sistemazioni idrauliche e adottando le pratiche agronomiche sostenibili, offrono un servizio ecologico che la collettività deve imparare a riconoscere (e a ricompensare).

#### ABSTRACT

*Agriculture and «water harvesting».* The sustainable use of water is becoming a frequent theme in international technical and scientific literature. Particular emphasis is given to "Water harvesting", i.e. the collection of rainwater in artificial reservoirs. The scales of interest are very wide, from the roof of houses to the hydrological basin.

Larger areas, such as the cultivated lands, on the other hand, are generally overlooked, despite the significant potential of soils to act as reservoirs to retain rainwater. Apart from

the thermo-pluviometric regime and soil characteristics, the agronomic management of the cropping systems determine the volume of water in the soil. The physical-hydrological properties of the soil modulated by agronomic practices are: depth and alternation of soil layers; structure, porosity and stability of aggregates; hydraulic conductivity; surface roughness.

The climatic anomalies, with the decrease in the number of rainfall events and the increase in rainfall intensity, make the rain less effective from an agronomic point of view, but produce more and more frequent runoff and drainage phenomena.

Rainwater that is not retained into the soil profile should not be considered a loss. On the contrary, it is a water resource which, following the path of runoff or drainage, feeds artificial reservoirs. Italian agriculture has provided very good examples of "water harvesting" (hilly ponds in Central Italy or underground cisterns in karst areas in the South) accompanied by good agronomic and farm practices to allocate the water balance terms. This Italian tradition, revisited in the light of the consequences of global warming and scientific updates, is a basis for designing additional networks of reservoirs spread throughout the territory to integrate the water resources in traditional reservoirs.

The water supply of these reservoirs is favoured by those farms which, by restoring hydraulic systems and adopting sustainable agronomic practices, offer an ecological service that the community should learn to recognise (and to pay).

#### BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ R., STEINBACH H.S. (2009): *A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas*, «Soil & Tillage Research», 104, pp. 1-15.
- ALVARO-FUENTES J., ARRUE J.L., GARCIA R., LOPEZ M.V., (2008): *Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions*, «Geoderma», 145, pp. 390-396.
- ANGUS J.F., VAN HEARWARDEEN A.F. (2001): *Increasing Water use and water use efficiency in dryland wheat*, «Agronomy Journal», 93, pp. 290-298.
- BIRADAR C.M., THENKABAIL P.S., NOOJIPADY P., YUANJIE L., DHEERAVATH V., TURRAL H., VELPURI M., GUMMA M.K., GALGANAKUNTA O.R.P., CAI X.L., XIAO X., SHULL M.A., ALANKARA R.D., GUNASINGHE S., MOHIDEEN S. (2009): *A global map of rainfed cropland areas (GMRCA) at the end of last millennium using remote sensing*, «International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation», 11, pp. 114-129.
- CALIANDRO A., CATALANO M. (1991): *Principi di aridocoltura*, «Rivista di Agronomia», 25, 3, pp. 373-386.
- CASTELLINI M., VENTRELLA D. (2012): *Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy*, «Soil & Tillage Research», 124, pp. 47-56.
- CAVAZZA L. (1980): *Dry farming in modern agriculture*, «Rivista di Agronomia», 14, 3, pp. 175-177.
- DE VITA P., DI PAOLO E., FECONDO G., DI FONZO N., PISANTE M. (2007): *No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in Southern Italy*, «Soil & Tillage Research», 92, pp. 69-78.

- FAGERIA N.K., MOREIRA A., MORAES L.A.C., MORAES M.F. (2014): *Root growth, nutrient uptake, and nutrient use efficiency by roots of tropical legumes cover crops as influenced by phosphorus fertilization*, «Soil Science and Plant Analysis», 45, pp. 555-569.
- FOLEY J.L., SILBURN D.M. (2002): *Hydraulic properties of rain impact surface seals on three clay soils - influence of raindrop impact frequency and rainfall intensity during steady state*, «Australian Journal of Soil Research», 40, pp. 1069-1083.
- GIARDINI L. (2004): *Principi di aridocoltura*, in *Agronomia generale, ambientale e aziendale*, Patron ed.
- GIORGI F., LIONELLO P. (2008): *Climate change projections for the Mediterranean region*, «Global and Planetary Change», 63, pp. 90-104.
- HATFIELD J.L., SAUER T.S., PRUEGER J.H. (2001): *Managing soils to achieve greater water use efficiencies: a review*, «Agronomy Journal», 93, pp. 271-280.
- HERNANZ J.L., LÓPEZ R., NAVARRETE L., SÁNCHEZ-GIRÓN V. (2002): *Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semi-arid central Spain*, «Soil & Tillage Research», 66, pp. 129-141.
- HOLLAND J.M. (2004): *The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence*, «Agriculture, Ecosystems and Environment», 103, pp. 1-25.
- KATERJI N., MASTRORILLI M., RANA G. (2008): *Water use efficiency of crops cultivated in Mediterranean region: Review and analysis*, «European Journal of Agronomy», 28, pp. 493-507.
- KELLER T., ARVIDSSON J., DEXTER A.R. (2007): *Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil*, «Soil & Tillage Research», 92, pp. 45-52.
- KIRKEGAARD J.A., GARDNER P.A., ANGUS J.F., KOETZ E. (1994): *Effect of Brassica break crops on the growth and yield of wheat*, «Australian Journal of Agricultural Research», 45, pp. 529-545.
- LIPIEC J., KUS J., SŁOWINSKA-JURKIEWICZ A., NOSALEWICZ A. (2006): *Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods*, «Soil & Tillage Research», 89, pp. 210-220.
- LÓPEZ-BELLIDO R.J., LÓPEZ-BELLIDO L., BENÍTEZ-VEGA J., LÓPEZ-BELLIDO F.J. (2007): *Tillage system, preceding crop, and nitrogen fertilizer in wheat crop: I. Soil water content*, «Agronomy Journal», 99, pp. 59-65.
- LOVELLI S., PERNIOLA M., SCALCIONE E., TROCCHI A., ZISKA L.H. (2012): *Future climate change in the Mediterranean area: implications for water use and weed management*, «Italian Journal of Agronomy», 7, pp. 44-49.
- MARTÍNEZ E., FUENTES J.P., SILVA P., VALLE S., ACEVEDO E. (2008): *Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile*, «Soil & Tillage Research», 99, pp. 232-244.
- MASTRORILLI M. (2015): *L'acqua nell'agricoltura sostenibile*, in *L'acqua in agricoltura - gestione sostenibile della pratica irrigua*, a cura di M. Mastrorilli, Edagricole - Edizioni Agricole di New Business Media srl, Milano, pp. 1-11.
- MASTRORILLI M., ZUCARO R. (2016): *Towards sustainable use of water in rainfed and irrigated cropping systems: review of some technical and policy issues*, «AIMS Agriculture and Food», 1(3): 294-314 DOI: 10.3934/agrfood.2016.3.294
- MASTRORILLI M. (2017): *L'acqua va raccolta e conservata come un tempo*, «Georgofili INFO», <http://www.georgofili.info/stampa.aspx?id=4476>
- MASTRORILLI M., RANA G., VERDIANI G., TEDESCHI G., FUMAI A., RUSSO G. (2018):

- Economic Evaluation of Hydrological Ecosystem Services in Mediterranean River Basins Applied to a Case Study in Southern Italy*, «Water», 10, 241; doi:10.3390/w10030241
- MRABET R. (2011): *No-Tillage agriculture in West Asia and North Africa*, in Tow P.G., Cooper I.M., Partridge I., Birch C.J. (Eds), «*Rainfed farming systems*», Dordrecht Netherlands: Springer., pp. 1015-1042.
- NIELSEN D.C., UNGER P., MILLER P.R. (2005): *Efficient water use in dryland cropping systems in the Great Plains*, «Agronomy Journal», 97, pp. 364-372.
- O'LEARY G.J., CONNOR D.J. (1997): *Stubble retention and tillage in a semi-arid environment: 3. Response of wheat*, «Field Crop Research», 54, pp. 39-50.
- PAGLIAI M. (1986): *Effetti della lavorazione e non lavorazione sulla porosità di un terreno franco-argilloso investito a vigneto*, «Rivista di Agronomia», 20, pp. 178-183.
- RASMUSSEN K.J. (1999): *Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality*, «Soil & Tillage Research», 53, pp. 3-14.
- SARTORI L., PERUZZI A. (1997): *Guida alla scelta ed all'impiego delle attrezzature per la lavorazione del terreno*, Edagricole, Bologna.
- STRUDLEY M.W., GREEN T.R., ASCOUGH II J.C. (2008): *Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: state of the science*, «Soil & Tillage Research», 99, pp. 4-48.
- WARD P.R., WHISSON K., MICIN S.F., ZEELLENBERG D., MILROY S.P. (2009): *The impact of wheat stubble on evaporation from sandy soil*, «Crop Pasture Science», 60, pp. 730-737.

MAURIZIO SERVILI<sup>1</sup>, SONIA ESPOSTO<sup>1</sup>, BEATRICE SORDINI<sup>1</sup>,  
GIANLUCA VENEZIANI<sup>1</sup>, STEFANIA URBANI<sup>1</sup>, ROBERTO SELVAGGINI<sup>1</sup>,  
ANTONIETTA LOREFICE<sup>1</sup>, LUIGI DAIDONE<sup>1</sup>, DAVIDE NUCCIARELLI<sup>1</sup>,  
AGNESE TATICCHI<sup>1</sup>

## L'acqua di vegetazione dei frantoi oleari: una risorsa da valorizzare

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Università degli Studi di Perugia

### PREMESSA

La sfida della sostenibilità è ormai al centro dell'agenda di lavoro di imprese, organizzazioni e istituzioni nazionali e internazionali. Aumentano ogni anno le filiere agroalimentari che concretizzano modelli di economia circolare, impegnandosi in maniera più importante nella valorizzazione dei propri sottoprodotti, che diventano una fonte economica di composti ad alto valore aggiunto e non più una mera questione di impatto ambientale. La valutazione delle caratteristiche qualitative di tali sottoprodotti, ricchi in molecole biologicamente attive, ha orientato la comunità scientifica a considerare delle vie alternative allo smaltimento, individuando soluzioni economicamente valide per un loro recupero (Demarche et al., 2012; De Marco et al., 2007; Servili et al., 2011a). Questi costituenti possono essere: vitamine, minerali, acidi grassi, fibre alimentari oppure antiossidanti o probiotici. Tra questi particolare attenzione è stata rivolta ai composti antiossidanti. Secondo la definizione più ampiamente adottata, appartengono alla categoria degli antiossidanti: tutte le sostanze che presenti in minore concentrazione rispetto al substrato ossidabile e in specifiche condizioni sono in grado di ritardare o prevenire l'ossidazione del substrato stesso (Shahidi, Ambigaipalan, 2015). Da qui, i composti fenolici contenuti in numerose matrici alimentari di origine vegetale acquistano un'importanza strategica, che è da associare alla loro capacità di migliorare la shelf-life degli alimenti e di esplicare *in vivo*, nell'organismo umano, effetti benefici contro le malattie cronic-degenerative indotte dallo stress ossidativo o a base infiammatoria (Shahidi, Ambigaipalan, 2015).

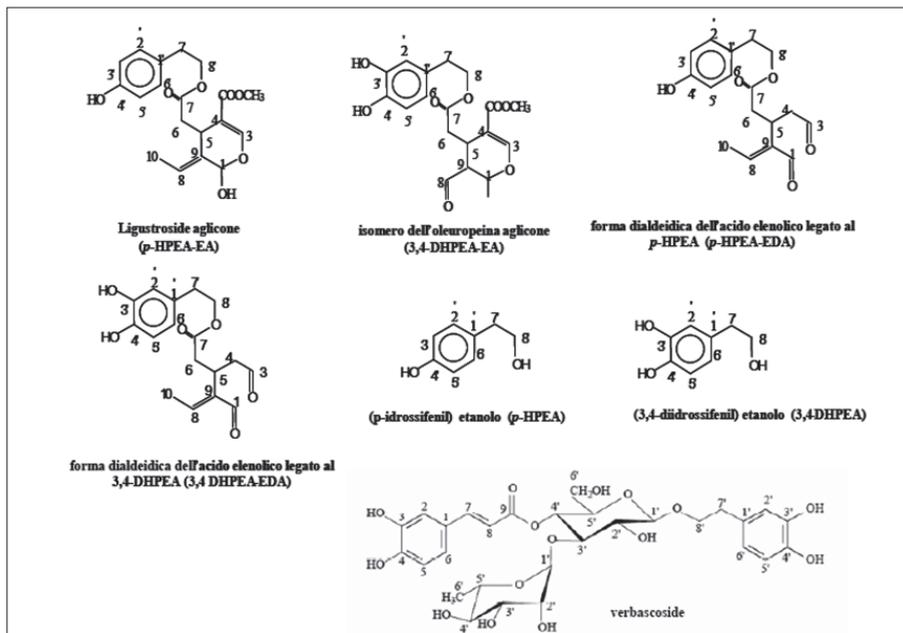


Fig. 1 Principali composti fenolici nelle acque di vegetazione (AV) (Servili et al., 2009)

La filiera olivicola-olearia ha un ruolo chiave nella valorizzazione dei co-prodotti dell'estrazione meccanica dell'olio extravergine di oliva, in quanto possono essere considerati una ricca fonte di molecole bioattive da riutilizzare in diversi campi come quello alimentare, farmaceutico, cosmetico e mangimistico (Araújo et al., 2015; Gullón et al., 2020).

Della frazione fenolica dell'olio extravergine di oliva e dei relativi co-prodotti sono ampiamente dimostrate, *in vivo* e *in vitro*, le proprietà antimicrobiche, antiossidanti, anti allergiche, antiinfiammatorie, antivirali e anti-cancerogene (Casaburi et al., 2013; Cicerale et al., 2011; Obied et al., 2012; Servili et al., 2004; 2013). A tale riguardo, le sostanze fenoliche presenti nell'AV appartengono a diverse classi quali: fenil alcoli, acidi fenolici, flavonoidi, lignani, i derivati dei secoiridoidi (il 3,4-DHPEA-EDA o oleaceina, forma dialdeidica dell'acido decarbossimetil elenolico legato al 3,4-DHPEA; p-HPEA-EDA o oleocantale, forma dialdeidica dell'acido decarbossimetil elenolico legato al p-HPEA; 3,4-DHPEA-EA, isomero dell'oleuropeina aglicone; p-HPEA-EA, ligustroside aglicone), oltre che il verbascoside (Servili et al., 2009) (fig. 1). A differenza degli altri composti di natura fenolica, che sono metaboliti secondari ubiquitari nel regno vegetale, i secoiridoidi sono composti esclusivi delle piante della famiglia delle Olearaceae, cui appartiene l'*Olea europaea* L.

(Servili et al., 2009). Allo stato attuale delle conoscenze proprio ai secoroidi e loro derivati sono state riconosciute le molteplici proprietà biologiche e salutistiche, in quanto in grado di esercitare un'elevata attività antiossidante e svolgere un importante ruolo nel rapporto tra il consumo di olio e la prevenzione di eventi cronico-degenerativi su base infiammatoria ed età-dipendenti, quali malattie cardio-vascolari e tumori (Piroddi et al., 2016; Servili et al., 2013). Nel confermare queste proprietà salutistiche, l'European Food Safety Authority (EFSA) ha concesso un claim salutistico ai polifenoli dell'olio vergine di oliva, in quanto capaci di contribuire alla protezione dei lipidi ematici dallo stress ossidativo, se assunti giornalmente con un dosaggio di almeno 5 mg di idrossitirosole e suoi derivati, nell'ambito di un consumo moderato di olio vergine di oliva (20g) (EFSA, 2012; Reg UE, 2012), quindi un buon olio vergine di oliva dovrebbe contenere almeno 250 mg/kg di composti fenolici.

Nel corso del processo di estrazione meccanica dell'olio extravergine di oliva l'intero patrimonio fenolico del frutto si ripartisce per una minima parte nella fase oleosa, circa il 2%, mentre la quasi totalità si ritrova nei sottoprodotti (AV e sansa vergine). Il recupero di una grande quantità di composti fenolici da AV sembra una strategia promettente per sfruttare un prodotto che altrimenti rappresenterebbe un costo importante di smaltimento per il settore olivicolo-oleario, rendendolo un co-prodotto piuttosto che un sottoprodotto. È importante, inoltre, considerare che le AV prodotte dal processo di estrazione dell'olio dalle olive oscillano tra 0.2 e 0.5 m<sup>3</sup>/ton di materia prima, a seconda del sistema di estrazione utilizzato, con una produzione mondiale che si attesta tra 10 ai 30 milioni di m<sup>3</sup> all'anno (Nasini et al., 2013). Le AV sono una matrice complessa, in quanto caratterizzate da un elevato carico organico e minerale (principalmente potassio, fosforo, sodio, calcio, ferro, magnesio, composti dell'azoto), una notevole quantità di solidi sospesi (190 g/L), un alto rapporto C/N, un elevato quantitativo di composti fenolici e un pH compreso tra 4,5 e 6 (Demarche et al., 2012). L'elevato carico organico e la sua composizione rendono l'AV un buon substrato per i microrganismi del suolo e dei corsi d'acqua, ma l'elevata presenza di composti fenolici, che può variare dal 0,34 al 1,13%, determina una diminuzione della biodegradabilità. Infatti, il potenziale inquinante di questo sottoprodotto, espresso da BOD5 e COD, è elevato (Niaounakis e Halvadakis, 2004) ed è per questo che la legge n. 319/76 (legge Merli) e successive, concernenti le norme sugli scarichi di qualsiasi provenienza per la tutela delle acque dall'inquinamento, hanno vietato lo scarico delle acque di vegetazione in corsi d'acqua o nelle fognature, se non dopo adeguata depurazione (che non sempre risulta essere in grado di ridurre il tasso inquinante ed è molto costosa) (Proietti et al., 2012).

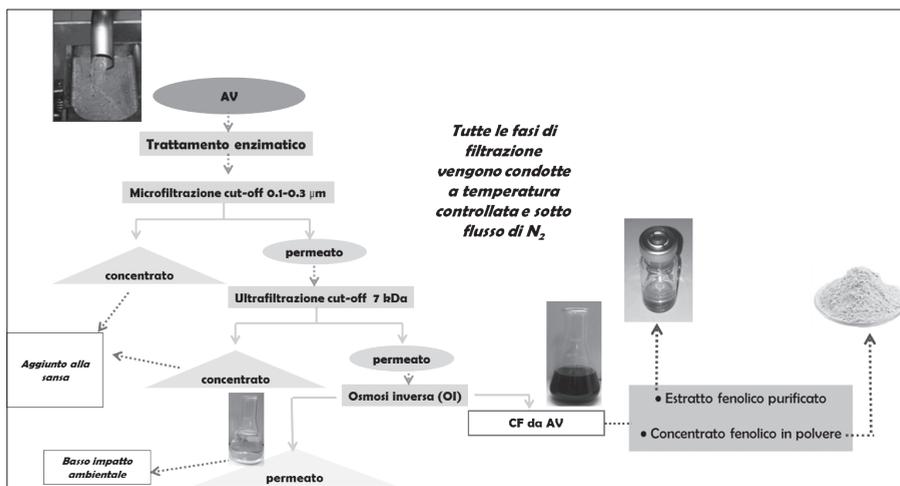


Fig. 2 *Flow-chart di processo di filtrazione su membrana delle AV e produzione di un concentrato fenolico (CF), di un estratto fenolico purificato (EF) e di un concentrato fenolico in polvere (Servili et al, 2011a)*

Da anni il mondo della ricerca sta collaborando con le aziende olearie per valutare i principali metodi studiati per il trattamento delle AV che vanno dall'applicazione diretta sul suolo, al compostaggio, ai trattamenti biologici e chimico-fisici, all'evaporazione naturale o forzata, ecc... (Gullón et al., 2020). Tra i vari metodi ipotizzati per valorizzare questo sottoprodotto c'è il recupero dei composti ad alto valore aggiunto con tecniche che siano ecocompatibili in grado di limitare gli impatti ambientali deleteri e allo stesso tempo di contribuire positivamente sulla redditività dell'industria olearia. Da questo punto di vista sono già state sviluppate molte tecnologie, alcune delle quali coperte da diversi brevetti, che si basano sull'utilizzo di resine adsorbenti, sul processo di evaporazione o attraverso l'applicazione di mezzi di filtrazione su membrana. Questi ultimi sistemi hanno un duplice scopo: ottenere AV disinquinata, e concentrati fenolici ad alto contenuto in molecole bioattive. Tuttavia, ancora oggi, permangono alcuni vincoli alla loro adozione su scala impiantistica, a causa della complessità della matrice che richiede un pretrattamento delle AV, oltre ai grandi costi di installazione dell'impianto. Servili et al. (2011a) hanno messo a punto un sistema di filtrazione su membrana, che non prevede l'utilizzo di solventi, per ottenere un concentrato fenolico (CF) da AV, dopo un pretrattamento con un pool enzimatico depolimerizzante (fig. 2). Tale approccio ecocompatibile è caratterizzato da una elevata efficienza di separazione, facile scale-up e alta produttività. Questo processo ha consentito

una riduzione del volume di AV e una consistente riduzione, oltre il 95%, del carico di inquinamento di natura organica iniziale (COD). Il CF ottenuto ha una concentrazione quattro volte maggiore del contenuto dei polifenoli iniziali di AV, dove il 3,4-DHPEA-EDA e il verbascoside sono presenti in concentrazioni più elevate. Tuttavia, la dotazione in composti fenolici delle AV è fortemente influenzata da numerosi fattori come cultivar, condizioni pedo-climatiche, tecniche agronomiche, periodo di raccolta, conservazione e sistema di estrazione (Servili et al., 2011a).

Per soddisfare differenti applicazioni nel settore alimentare, cosmetico e nutraceutico, dal CF ricco di composti bioattivi, sono state sviluppate formulazioni specifiche progettate su misura. A tale scopo, sono state condotte diverse prove sperimentali volte a raggiungere una maggiore stabilità della gamma di prodotti come uno estratto fenolico (EF) in polvere ottenuto dal CF che prima di essere disidratato mediante la tecnica dello spray dry è stato addizionato di maltodestrine e EF stabilizzati, caratterizzati da un diverso grado di purezza e tipologia di inclusione su matrici stabilizzanti. Questo approccio può rappresentare per il comparto olivicolo-oleario una nuova fonte di reddito che andrebbe a integrare e probabilmente sostenere il sistema integrato di filiera.

#### SVILUPPO DI INGREDIENTI ALIMENTARI FUNZIONALI INNOVATIVI

La sensibilità dei consumatori verso alimenti e ingredienti, ai quali sono attribuite proprietà funzionali, è in forte crescita (Kearney, 2010). Dalle nuove dinamiche alimentari appare evidente come gli alimenti funzionali costituiscano oramai un consolidato segmento di mercato e come l'industria alimentare sia alla continua ricerca di sostanze di origine naturale considerate "specialty" o "value-added ingredients", ingredienti, cioè, dotati di caratteri di funzionalità, tra i quali spicca il comparto degli antiossidanti di origine naturale (Asioli et al., 2017). Tra i componenti bioattivi di cui può servirsi l'industria alimentare, rivestono un ruolo importante i composti fenolici isolati delle AV, che si differenziano per la loro esclusività da tutti gli altri presenti in diversi alimenti di origine vegetale in termini di composizione chimica e attività biologiche associate (Servili et al., 2004; 2013). Pertanto, consumatori non abituali di olive da tavola e/o di oli extravergini di oliva potranno avere a disposizione alimenti di vasto consumo caratterizzati da proprietà salutistiche del tutto simili a quelle dimostrate per i prodotti alimentari provenienti dai suddetti alimenti. Lo sviluppo di prodotti alimentari funzionali arricchiti da

	CV. PERANZANA				CV. OGLIAROLA			
	CONTROLLO		CF		CONTROLLO		CF	
3,4-DHPEA <sup>z</sup>	2.6	(0.1)a	5.2	(0.3)b	1.7	(0.1)a	5.5	(0.3)b
<i>p</i> -HPEA	4.5	(0.2)a	5.1	(0.2)b	9.1	(0.4)a	7.5	(0.4)a
3,4-DHPEA-EDA	69.6	(3.3)a	173	(8.2)b	56.9	(2.7)a	138	(6.6)b
<i>p</i> -HPEA-EDA	48.4	(2.4)a	52.1	(2.6)a	72.3	(3.6)a	80.2	(4.01)a
3,4-DHPEA-EA	148	(7.4)a	152	(7.6)a	183	(12.2)a	213	(15.2)a
(+)-1-Acetossipinoresinolo	17.7	(0.9)a	17.1	(0.9)a	12.5	(0.6)a	15.0	(0.8)b
(+)-Pinoresinolo	19.5	(0.9)a	19.9	(0.9)a	22.1	(1.1)a	25.8	(2.6)a
Fenoli totali	311	(8.6)a	425	(11.6)b	357	(10.3)a	485	(17.3)b
	CV. MORAIOLO				CV. CORATINA			
	CONTROLLO		CF		CONTROLLO		CF	
3,4-DHPEA <sup>z</sup>	6.5	(0.32)a	11.0	(0.6)b	1.9	(0.1)a	2.9	(0.2)b
<i>p</i> -HPEA	10.3	(0.5)a	11.7	(0.9)a	6.3	(0.4)a	5.3	(0.5)a
3,4-DHPEA-EDA	114	(5.4)a	252	(12)b	282	(13.4)a	481	(39.1)b
<i>p</i> -HPEA-EDA	103	(7.2)a	119	(8.9)a	216	(10.8)a	220	(19.9)a
3,4-DHPEA-EA	136	(6.8)a	141	(7.1)a	278	(13.9)a	297	(24.1)a
(+)-1-Acetossipinoresinolo	13.2	(0.9)a	15.4	(1.1)a	13.2	(0.7)a	14.4	(1.2)a
(+)-Pinoresinolo	15.0	(1.1)a	17.4	(1.2)a	18.4	(1.2)a	18.8	(1.3)a
Fenoli totali	393	(11.4)a	567	(16.7)b	816	(22.2)a	1040	(50.1)b

<sup>z</sup> I dati sono la media di tre determinazioni indipendenti tra parentesi la deviazione standard. La significatività dei dati è stata analizzata tramite one way ANOVA ( $p < 0.05$ ). Le lettere minuscole in colonna (a-b) indicano campioni diversi gli uni dagli altri.

Tab. 1 *Composizione fenolica (mg/kg) degli oli extravergini di oliva Controllo e arricchiti con concentrato fenolico (CF) da acque di vegetazione (5%) di cultivar differenti (Peranzana, Ogliarola, Moraiolo e Coratina) (Servili et al., 2011a)*

un EF da AV costituisce l'oggetto di molti lavori (Araújo et al., 2015; Gullón et al., 2020; Servili et al., 2011a; 2011b; Veneziani et al., 2017).

Un importante contributo all'uso potenziale delle AV è stato fornito da Servili et al. (2011a; 2011b) per la preparazione di oli arricchiti e bevande funzionali a base di latte. In particolare, un CF da AV è stato aggiunto in concentrazioni del 5% e del 10% (volume/peso) nella pasta di olive di cultivar differenti (*Peranzana, Ogliarola, Coratina e Moraiolo*) in fase di gramolatura. Gli oli ottenuti dalla sperimentazione erano caratterizzati da una maggiore concentrazione di fenoli, che andava da un minimo del 27% a un massimo del 44% rispetto alle prove di controllo. L'aggiunta di CF da AV al 5% ha portato ad aumenti consistenti del 3,4-DHPEA-EDA in relazione della cultivar, determinando un miglioramento negli oli della stabilità all'ossidazione e delle caratteristiche qualitative salutistiche e sensoriali, date dalla nota pungente e amara associate ai composti fenolici,

	CV. PERANZANA				CV. OGLIAROLA			
	CONTROLLO		CF		CONTROLLO		CF	
<i>Aldeidi</i>								
Esanale <sup>2</sup>	1280	(74.4)a	1250	(68.9)a	2260	(131)a	2020	(111)a
(E)-2-Pentenale	405	(30.5)a	356	(28.6)a	299	(17.3)a	320	(17.6)a
(E)-2-Esenale	89700	(7170)a	75700	(5830)a	99400	(5770)a	89300	(4910)a
<i>Alcoli</i>								
1-Penten-3-olo	686	(39.8)a	684	(37.6)a	263	(18.2)a	317	(23.4)b
1-Pentanolo	23.5	(1.4)a	29.8	(1.6)b	18.0	(1.0)a	16.0	(0.9)a
(E)-2-Penten-1-olo	457	(23.5)a	480	(26.4)a	242	(17.1)a	276	(20.2)a
1-Esanolo	480	(31.8)a	575	(45.6)b	1350	(78.2)a	1060	(58.3)b
(E)-3-Esen-1-olo	10.0	(0.6)a	17.5	(1)b	19.5	(1.3)a	15.5	(1.1)a
(Z)-3-Esen-1-olo	367	(26.3)a	467	(36.7)b	193	(11.2)a	200	(13)a
(Z)-2-Esen-1-olo	867	(51.9)a	1030	(67.2)b	1160	(78.6)a	1330	(100)a
<i>Esteri</i>								
Esil acetato	1880	(147)a	1650	(107)a	25.5	(1.5)a	35.5	(2.0)b
(Z)-3-Esenil acetato	2130	(138)a	2690	(183.8)b	15.0	(0.9)a	27.5	(1.5)b
	CV. MORAILO				CV. CORATINA			
	CONTROLLO		CF		CONTROLLO		CF	
<i>Aldeidi</i>								
Esanale <sup>2</sup>	884	(70.7)a	921	(69.1)a	943	(54.7)a	782	(42.8)b
(E)-2-Pentenale	187	(11.2)a	205	(15.3)a	185	(10.7)a	210	(11.5)a
(E)-2-Esenale	103000	(4110)a	97800	(3420)a	119000	(6930)a	127000	(6990)a
<i>Alcoli</i>								
1-Penten-3-olo	471	(29.2)a	545	(38.1)a	521	(30.2)a	551	(32.3)a
1-Pentanolo	15.5	(1.1)a	23.3	(1.6)a	27.3	(1.6)a	13.3	(0.7)b
(E)-2-Penten-1-olo	340	(20.4)a	406	(30.4)b	377	(21.8)a	392	(21.6)a
1-Esanolo	1230	(73.6)a	1700	(127)b	509	(29.5)a	524	(28.8)a
(E)-3-Esen-1-olo	15.0	(1.4)a	21.0	(1.7)b	15.3	(1.2)a	10.3	(0.8)b
(Z)-3-Esen-1-olo	967	(58.0)a	860	(64.7)a	199	(11.6)a	223	(12.3)a
(Z)-2-Esen-1-olo	1820	(180)a	2140	(161)a	1170	(67.7)a	1040	(57.3)a
<i>Esteri</i>								
Esil acetato	36.5	(2.4)a	32.8	(2.5)a	11.8	(0.7)a	8.5	(0.5)b
(Z)-3-Esenil acetato	181	(11.7)a	176	(13.2)a	28.5	(1.7)a	22.0	(1.9)b

<sup>2</sup> I dati sono la media di tre determinazioni indipendenti tra parentesi la deviazione standard. La significatività dei dati è stata analizzata tramite one way ANOVA (p < 0.05). Le lettere minuscole in colonna (a-b) indicano campioni diversi gli uni dagli altri.

Tab. 2 *Composizione volatile ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) degli oli extravergini di oliva Controllo e arricchiti con concentrato fenolico (CF) da acque di vegetazione (5%) di cultivar differenti (Peranzana, Ogliaiarola, Moraiolo e Coratina) (Servili et al., 2011a)*

senza però modificare la composizione in sostanze responsabili delle caratteristiche olfattive (tabb. 1 e 2).

Per sfruttare la funzionalità dell'EF un opportuno veicolo è rappresentato

TEMPO INIZIALE	BLF 100		BLF 200	
3,4-DHPEA <sup>a</sup>	20,5	(1,0)a	26,6	(1,2)b
<i>p</i> -HPEA	0,8	(0,1)a	3,1	(0,2)b
3-4 DHPEA-EDA	53,9	(3,7)a	138,7	(8,4)b
Verbascoside	1,9	(0,1)a	4,1	(0,3)b
Fenoli totali	77,2	(3,9)a	172,5	(3,9)b
Dopo un mese di conservazione				
3,4-DHPEA <sup>a</sup>	30,4	(1,5)a	43,9	(2,3)b
<i>p</i> -HPEA	0,5	(0,03)a	1,8	(0,1)b
3-4 DHPEA-EDA	22,4	(1,3)a	68,2	(4,1)b
Verbascoside	n.d.		n.d.	
Fenoli totali	53,4	(2,0)a	113,9	(4,7)b

<sup>a</sup> I dati sono i valori medi di tre esperimenti indipendenti; la deviazione standard è riportata in tra parentesi. I valori in ogni riga aventi differenti lettere (a-b) sono significativamente diversi tra loro (p < 0,01). n.d.: non determinato.

Tab. 3 Concentrazione dei composti fenolici (mg/kg) delle bevande a base di latte fermentato fortificate con 100 (BLF100) o 200 (BLF200) mg/L di EF. La conservazione è stata di 30 giorni a 4 °C (Servili et al., 2011b)

dai prodotti a base di latte fermentato, dato il largo consumo quotidiano. Servili et al. (2011b) hanno proposto bevande funzionali a base di latte, fortificate con composti fenolici estratti da AV a due diverse concentrazioni (100 e 200 mg/L) e fermentati con acido  $\gamma$ -amino butirrico (*Lactobacillus plantarum* C48) e batteri lattici presenti nell'apparato gastrointestinale dell'uomo (*Lactobacillus paracasei* 15N). Gli autori hanno dimostrato che i composti fenolici non hanno interferito né con il processo di fermentazione e né con le attività e la sopravvivenza di batteri lattici funzionali. L'arricchimento non ha modificato la gradevolezza del prodotto in termini di profilo aromatico e di analisi sensoriale. Sebbene durante la shelf-life del prodotto (30 giorni) i composti fenolici siano diminuiti, il loro apporto di composti bioattivi era comunque in grado di garantire sempre il contributo necessario (attraverso il consumo di un vasetto da 125 mL di latte fermentato) per beneficiare degli effetti salutistici, secondo il claim dell'EFSA (EFSA, 2012) (tab. 3).

#### POTENZIALI APPLICAZIONI DI UN ESTRATTO FENOLICO DA AV COME ADDITIVO ALIMENTARE DI ORIGINE NATURALE

L'opportunità di andare incontro alle richieste di un consumatore, sempre più esigente nello scegliere alimenti con "clean label" (cioè con etichetta semplice, facilmente comprensibile e costituita da ingredienti naturali senza l'utilizzo

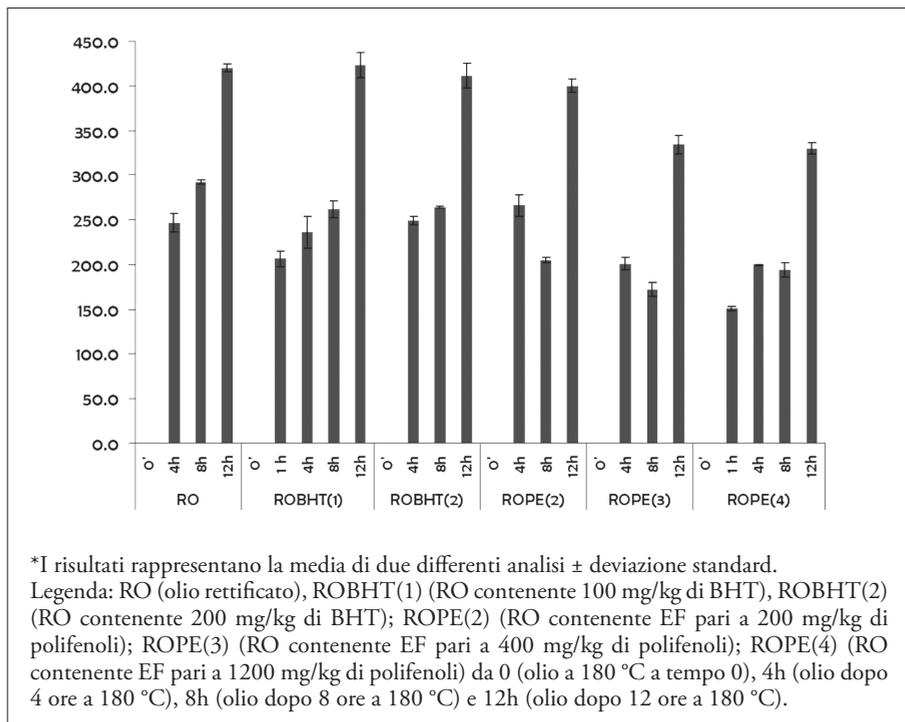


Fig. 3 *Evoluzione dei composti volatili ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  di olio) espressi come somma dei acroleina e  $\beta,\beta$ -dimetilacroleina durante la simulazione di un processo di frittura (Esposito et al., 2015)*

di additivi di sintesi), ha spinto l'industria alimentare verso una progressiva riduzione dell'utilizzo di additivi di origine sintetica (Asioli et al., 2017). Oltre a ciò, recenti studi ne hanno messo in evidenza l'effetto tossico e cancerogeno dovuto a una loro assunzione prolungata (EFSA, 2012). Risulta di grande interesse lo sviluppo di tecnologie innovative atte al recupero nonché la valutazione d'impiego di antiossidanti, conservanti e antimicrobici di origine naturale estratti da matrici vegetali che se aggiunti a diverse preparazioni alimentari e non solo, siano in grado di avere le funzioni tecnologiche, per estendere la shelf-life dei prodotti alimentari e di migliorarne le caratteristiche qualitative in termini di proprietà nutrizionali, salutistiche e di sicurezza. Il ruolo dei composti fenolici, e dei derivati dell'oleuropeina in particolare, di contrastare i fenomeni negativi di ossidazione e foto-ossidazione che si verificano in fase di conservazione dell'olio è stato ampiamente dimostrato (Esposito et al., 2017; 2020). Tali fenoli, infatti, reagiscono immediatamente con l'ossigeno disciolto nell'olio, così come con altri radicali liberi, che eser-

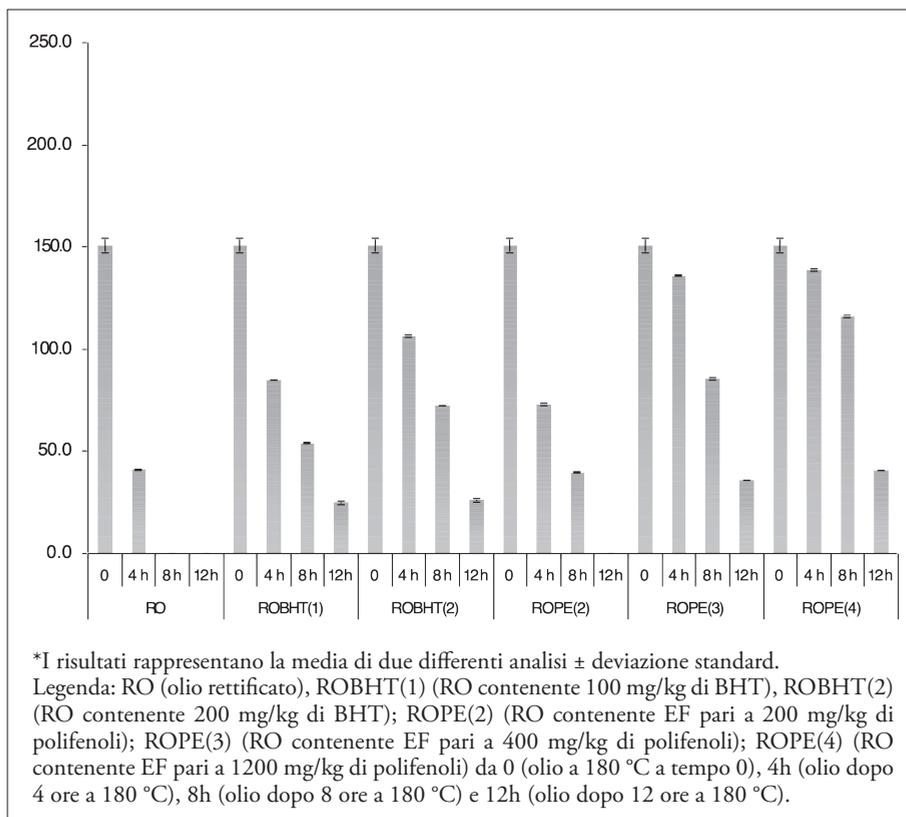


Fig. 4 Evoluzione dell' $\alpha$ -tocoferolo (mg/kg di olio) durante la simulazione di un processo di frittura (Esposito et al., 2015)

citando le loro proprietà di  $O_2$ -quenching e radical scavenging, limitano, quindi, l'evoluzione dell'autossidazione (Esposito et al., 2020). Sulla base di numerose evidenze scientifiche i composti fenolici da AV rappresentano, come ingredienti naturali innovativi per l'industria alimentare, cosmetica e nutraceutica, un'opportunità o un'alternativa complementare agli antiossidanti di sintesi sfruttando le loro attività stabilizzanti, antiossidanti e antimicrobiche (Veneziani et al., 2017). Diverse linee di ricerca si sono orientate in questa direzione. A tale scopo, l'EF da AV, una volta caratterizzato è stato testato attraverso processi di frittura simulata, miscelandolo a oli vegetali, a differenti concentrazioni in termini di fenoli, per valutarne le sue potenzialità nel contrastare fenomeni negativi legati ai processi di termodegradazione dei grassi (Esposito et al., 2015; Sordini et al., 2019). Nello studio condotto da Esposito et al. (2015), le performances dell'antiossidante di origine naturale sono

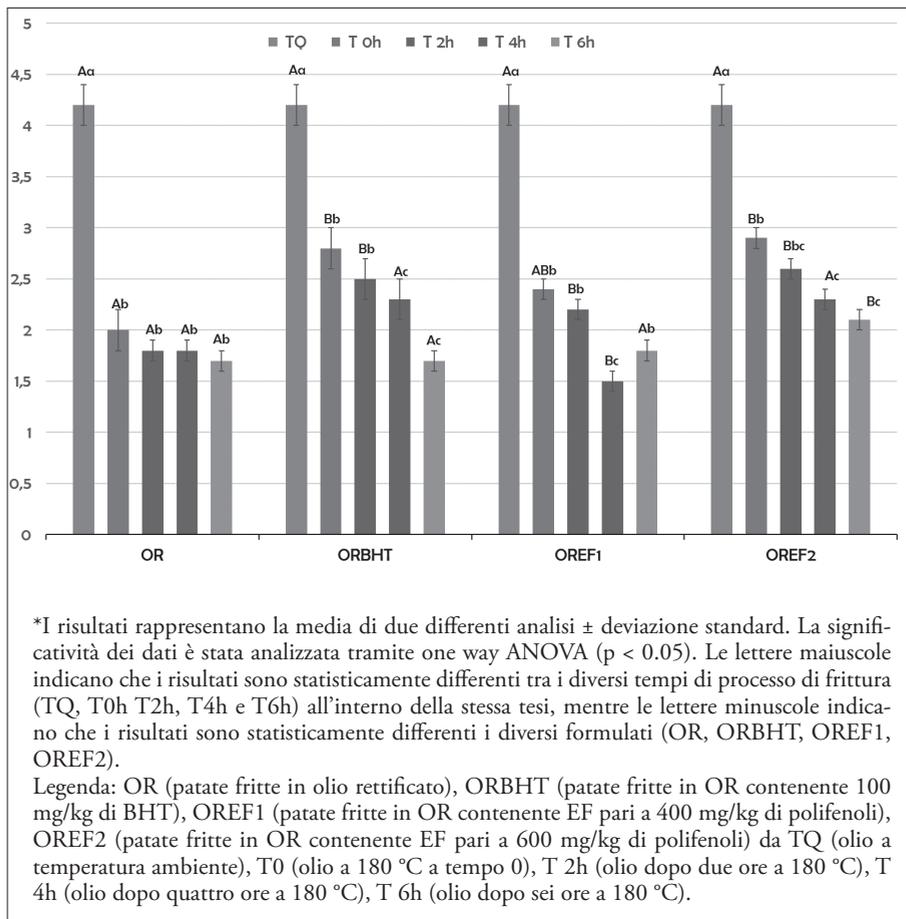


Fig. 5 Evoluzione dell'acido clorogenico (mg/100g d.w.) di patate fritte in diversi oli durante il processo di simulazione della frittura (Sordini et al., 2019)

state confrontate con oli extravergine di oliva, con oli privi di antiossidanti e con aggiunta di antiossidanti di sintesi comunemente utilizzati nei processi di frittura industriale (BHT e BHA), la cui stabilità alle alte temperature e sicurezza nei confronti della salute umana sono state messe in discussione dal panel di esperti dell'EFSA (EFSA, 2012). I risultati hanno dimostrato che l'EF è efficace nel preservare il contenuto di  $\alpha$ -tocoferolo (vitamina E) e nel ridurre la formazione e l'accumulo di sostanze volatili potenzialmente tossiche per la salute umana come l'acroleina e altre aldeidi volatili derivanti dal processo di ossidazione secondaria degli acidi grassi (figg. 3 e 4). Questi risultati incoraggianti sono stati confermati da un recente studio, dove Sor-

	TQ	T 0h	T 2h	T 4h	T 6h
OR	0.0 ± 0.0 <sup>Aa</sup>	39.6 ± 2.7 <sup>Ab</sup>	25.9 ± 1.4 <sup>Ac</sup>	29.9 ± 1.0 <sup>Acd</sup>	33.4 ± 1.5 <sup>Ad</sup>
ORBHT	0.0 ± 0.0 <sup>Aa</sup>	39.0 ± 2.4 <sup>Ab</sup>	27.0 ± 2.1 <sup>Ac</sup>	26.5 ± 1.3 <sup>Ac</sup>	22.8 ± 1.8 <sup>Bc</sup>
OREF1	0.0 ± 0.0 <sup>Aa</sup>	27.7 ± 2.0 <sup>Bb</sup>	22.9 ± 1.9 <sup>Ab</sup>	19.2 ± 1.2 <sup>Bc</sup>	20.1 ± 1.4 <sup>Bc</sup>
OREF2	0.0 ± 0.0 <sup>Aa</sup>	64.8 ± 0.9 <sup>Ca</sup>	28.7 ± 2.4 <sup>Ab</sup>	20.5 ± 1.6 <sup>Bac</sup>	19.6 ± 1.7 <sup>Bc</sup>

\*I risultati rappresentano la media di due differenti analisi ± deviazione standard. La significatività dei dati è stata analizzata tramite one way ANOVA ( $p < 0.05$ ). Le lettere maiuscole in apice indicano che i risultati sono statisticamente differenti tra i diversi tempi di processo di frittura (TQ, T0h T2h, T4h e T6h) all'interno della stessa tesi, mentre le lettere minuscole in apice indicano che i risultati sono statisticamente differenti i diversi formulati (OR, ORBHT, OREF1, OREF2).  
 Legenda: OR (patate fritte in olio rettificato), ORBHT (patate fritte in OR contenente 100 mg/kg di BHT), OREF1 (patate fritte in OR contenente EF pari a 400 mg/kg di polifenoli), OREF2 (patate fritte in OR contenente EF pari a 600 mg/kg di polifenoli) da TQ (olio a temperatura ambiente), T0 (olio a 180 °C a tempo 0), T 2h (olio dopo due ore a 180 °C), T 4h (olio dopo quattro ore a 180 °C), T 6h (olio dopo sei ore a 180 °C).

Tab. 4 *Evoluzione dell'acrilammide ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) nelle patate fritte in diversi oli durante il processo di simulazione della frittura (Sordini et al., 2019)*

dini et al. (2019) testavano l'efficacia dell'EF in un processo di frittura per immersione prolungata in presenza di alimento (patate pre-fritte). Anche in questo studio è stata dimostrata la capacità stabilizzante dell'EF durante la frittura, svolgendo un ruolo importante (dose-dipendente) nel preservare gli antiossidanti sia dell'olio sia dell'alimento e nel contrastare la formazione di composti indesiderati (acroleina ed esanale), o potenzialmente tossici per la salute come l'acrilammide (fig. 5 e tab. 4). Questi risultati dimostrano chiaramente che l'EF può essere utilizzato come fonte di antiossidanti naturali per sostituire gli additivi di sintesi in impieghi dai volumi importanti come per la ristorazione o per la frittura industriale.

Un'ulteriore attività di ricerca ha riguardato nello specifico lo studio dell'effetto protettivo di un EF aggiunto ai soffritti nella preparazione di salse di pomodoro nei confronti dei fitonutrienti (carotenoidi e altre molecole bioattive) presenti in una passata di pomodoro commerciale, durante la simulazione della fase cottura di un sugo preparato in condizioni di cottura domestiche. La presenza dei fenoli della AV sia durante la cottura del soffritto sia della salsa ha contribuito a preservare i principali costituenti fenolici del pomodoro e del soffritto (flavonoidi e tocoferoli), e dei carotenoidi (alfa e beta-carotene e trans- e cis-licopene) in funzione al contenuto di sostanze fenoliche apportate con l'EF. Come illustrato in figura 6, nel prodotto finito rimanevano quantitativi più abbondanti dei composti bioattivi responsabili delle proprietà salutistiche di questo alimento e, inoltre, residuavano discrete quantità dei polifenoli apportati dall'estratto, di notevole interesse per le loro conosciute proprietà salutistiche nei confronti del consumatore.

I deterioramenti chimici e microbiologici che si verificano durante la

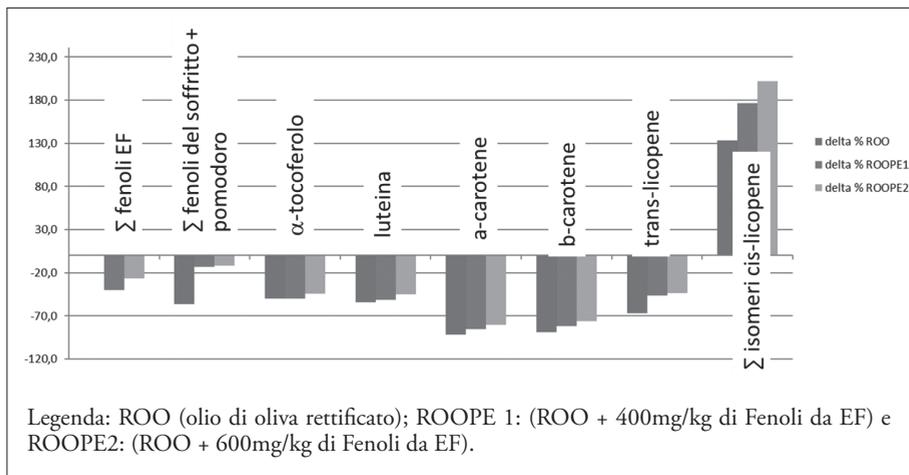


Fig. 6 Variazione % (post-cottura vs pre-cottura) dei fitonutrienti di un sugo di pomodoro nel processo di preparazione domestica, in funzione dell'aggiunta all'olio di cottura di EF da AV, (Taticchi et al., 2017)

manipolazione, la lavorazione e la conservazione sono tra le principali cause di perdita di qualità anche degli alimenti di origine animale. Lo sviluppo dell'odore rancido e del sapore sgradevole, i cambiamenti di consistenza e colore e la perdita del valore nutrizionale in questi prodotti possono essere prevenuti con l'uso appropriato di additivi. Diverse ricerche hanno chiaramente dimostrato che gli EF da AV esercitano un'azione antimicrobica verso specie microbiche patogene e non solo, migliorando la shelf-life di alcuni prodotti alimentari particolarmente deperibili come maionese, prodotti carnei e ittici freschi e trasformati, garantendone anche la sicurezza (Balzan et al., 2017; Fasolato et al., 2015; Menchetti et al., 2020; Miraglia et al., 2016; 2020).

In uno studio effettuato da Balzan et al. (2017) è stato aggiunto un EF purificato da AV a due concentrazioni di 0,075 e 0,15 g/100 g nella preparazione di salsicce di maiale fresche crude e cotte preparate senza additivi chimici (nitriti e nitrati o sodio lattato). Dai risultati è evidente l'efficacia dell'EF nel prevenire l'ossidazione lipidica e nel limitare la degradazione ossidativa del colesterolo sia nel prodotto crudo che nel cotto. Dal panel test effettuato risulta che l'EF modifica in qualche modo il sapore dei campioni, ma in nessuno caso tale cambiamento è stato considerato negativo e, quindi, la quantità di estratto da utilizzare per contrastare efficacemente il processo ossidativo (valori di TBARS inferiori a 1 mg/kg e livelli COPs costantemente bassi) è in perfetto equilibrio con la qualità sensoriale del prodotto finale.

In alcuni studi sono state definite per ogni attività antimicrobica le soglie

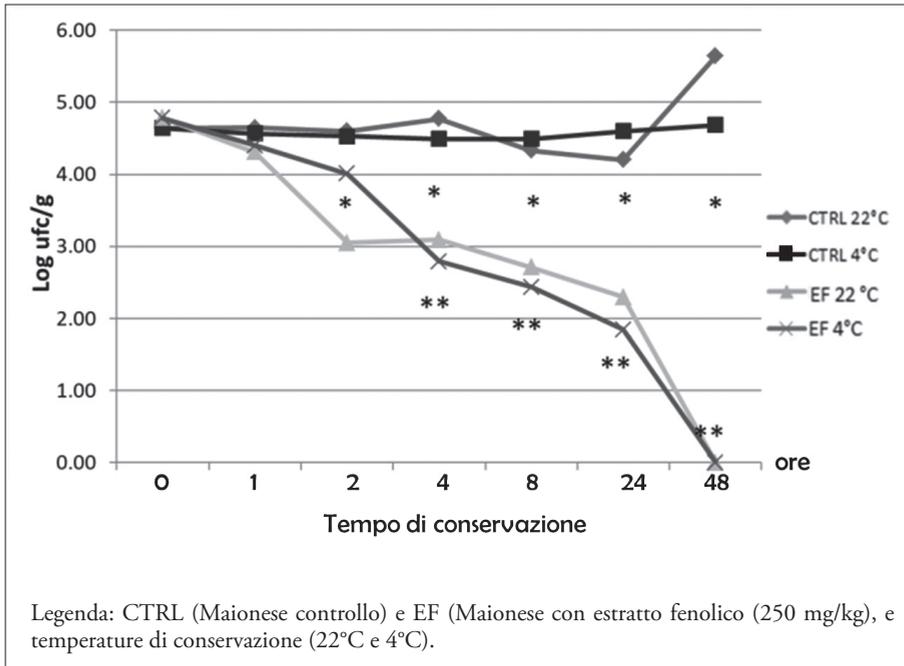


Fig. 7 Popolazione di *Salmonella Enteritidis* presente nella maionese prodotta con olio di girasole con aggiunta di estratto fenolico da AV (250 mg/kg) e Controllo durante due giorni di conservazione a due diverse temperature (22°C e 4°C) (Menchetti et al., 2020)

di attività per l'impiego dell'EF negli alimenti, attraverso test preliminari *in vitro*. In particolare, tra i batteri Gram-negativi testati, un effetto significativo è stato trovato per *Escherichia coli* per valori maggiori di 6mg/mL; mentre la maggior parte dei batteri Gram-positivi sono influenzati da concentrazioni decisamente più basse (Carraro et al., 2014; Fasolato et al., 2015; Obied et al., 2007; Roila et al., 2019a; 2019b). La capacità dei fenoli dell'EF di inibire la crescita di specie patogene come *Listeria monocytogenes* e lo *Staphylococcus aureus* è stata valutata tramite test *in vitro* su altri modelli alimentari come la salsiccia fresca italiana (Fasolato et al., 2016a). Sulla base di queste evidenze scientifiche diversi lavori hanno indagato l'impiego di tale EF come potenziale ingrediente bioattivo antimicrobico allo scopo di migliorare la durata di conservazione e lo stato igienico dei prodotti freschi di diverse matrici alimentari come la maionese, l'orata, il salmone, sul gambero rosa e il petto di pollo (Fasolato et al., 2016b; Menchetti et al., 2020; Miraglia et al., 2016; 2020). Tutti i modelli alimentari sono stati esaminati per i diversi target microbici e di ossidazione lipidica durante il periodo di conservazione refrigerata. In

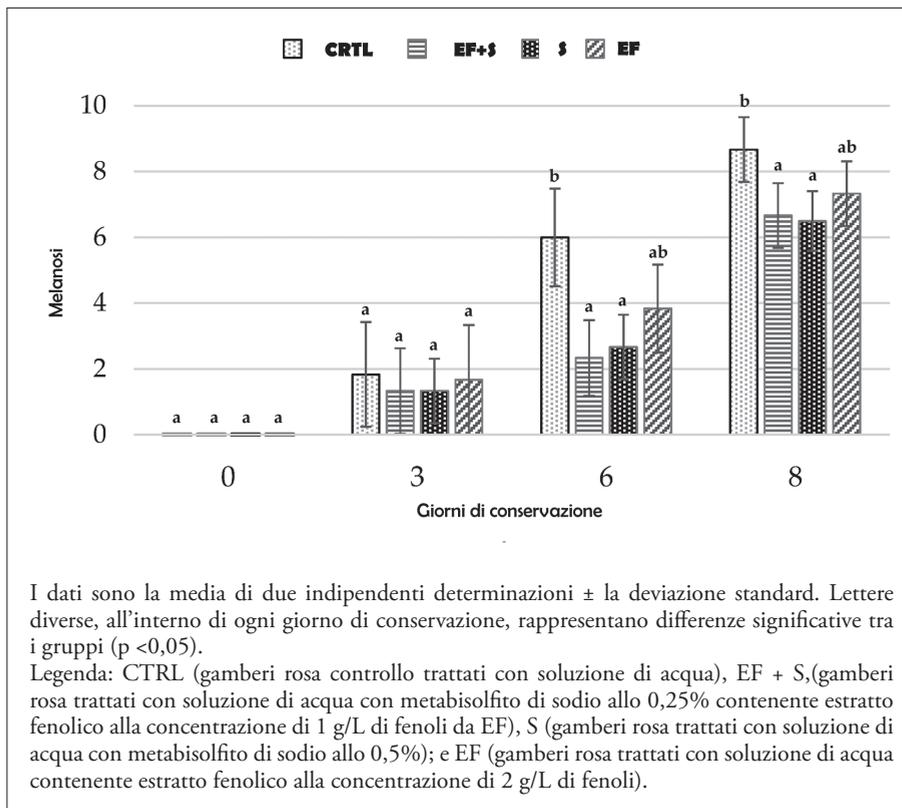


Fig. 8 Evoluzione della melanosi in gamberi rosa durante il periodo di conservazione in funzione del trattamento (Miraglia et al., 2020)

particolare, l'influenza dell'EF da AV e della temperatura di conservazione sulla sopravvivenza e proliferazione della *Salmonella Enteritidis* inoculata sulla maionese è stata recentemente osservata da Menchetti et al. (2020). Dallo studio emerge che l'EF ha migliorato la stabilità ossidativa, mostrando inoltre un effetto battericida sulla *Salmonella* E, con una riduzione di quasi 5 Log UFC/g in 48 ore a 4 °C (fig. 7).

Come sottolineato da Fasolato et al. (2016b), il CF ha determinato un aumento della durata di conservazione del petto di pollo di 2 giorni. Dai risultati emerge che i fenoli del CF hanno interagito con le matrici alimentari e, che, quindi, il bagno con CF risulta una modalità di trattamento efficace. Coerente con altri studi l'efficacia dell'EF, effettuando trattamenti d'immersione, può prevenire il deterioramento della qualità di tali prodotti ittici, in particolare dei filetti di salmone (Miraglia et al., 2016), costituendo anche

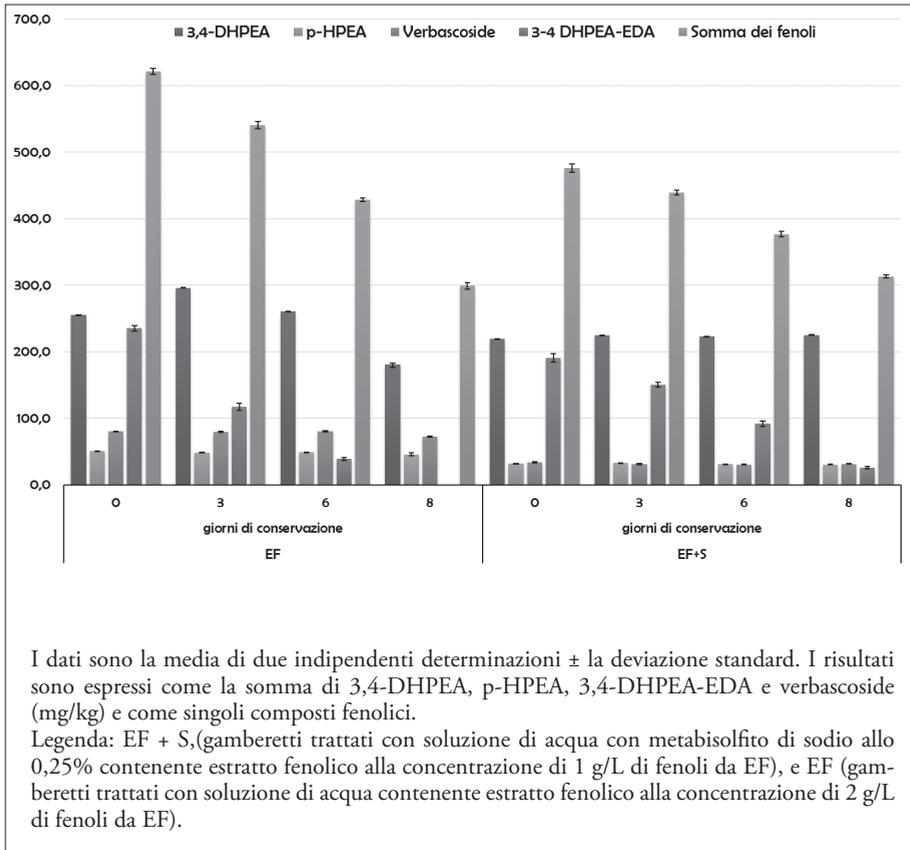


Fig. 9 Evoluzione dei composti fenolici in gamberetti trattati con una soluzione di acqua contenente estratto fenolico 2g /L di fenoli (EF) e trattati con una soluzione di acqua con metabisolfito di sodio allo 0,25% contenente 1 g/L di fenoli (EF+S) durante la conservazione (Miraglia et al., 2020)

una buona alternativa all'agente solforante nel ritardare il fenomeno della melanosi nei crostacei (Miraglia et al., 2020). Di recente l'EF come additivo naturale è stato valutato in studio sul gambero rosa (Miraglia et al., 2020). In particolare, l'EF ha ritardato i fenomeni alterativi rallentando l'ossidazione dei lipidi, lo sviluppo microbico e la formazione dei composti azotati volatili, in modo proporzionalmente efficace alla dose di estratto utilizzato. Tuttavia, gli effetti sulla formazione della melanosi sono stati meno evidenti. I cambiamenti nella melanosi durante il periodo di conservazione sono riportati nella figura 8. A differenza dell'effetto inibitorio marginale sulla progressione della formazione dei black spot mostrato dal trattamento con solo EF (concentrazione di 2 g/L), il trattamento 1 g/L di fenoli, aggiunto a una soluzione

di metabisolfito di sodio allo 0,25%, è stato, invece, in grado di ritardare la melanosi con un'efficacia pari alla soluzione di solo metabisolfito di sodio alla concentrazione dello 0,5%, normalmente utilizzata dai produttori per anti-melanosi nei gamberetti. Questo risultato è molto promettente, date le ben note reazioni avverse associate ai solfiti. Poter trattare, infatti, alimenti con minori quantità di solfiti, abbinandoli al potere antiossidante dei composti naturali, permetterebbe di ottenere, da un lato, un prodotto più sano e, dall'altro un prodotto accettabile per il consumatore allo stesso modo di uno trattato solo con solfiti. Inoltre, pur se assorbiti sulle diverse matrici alimentari solo per minime quantità rispetto alla quantità disponibile in soluzione, i polifenoli dell'EF consentono un significativo aumento dell'attività antiossidante delle carni rispetto al controllo, da correlare con molta probabilità al potere del 3,4-DHPEA-EDA, composto che, allo stesso tempo, era il meno assorbito ma il più consumato. Residue quantità di tali composti, significativamente diverse in funzione della concentrazione iniziale in soluzione, rappresentano inoltre, un'importante risorsa di composti bioattivi per la conservazione del prodotto ma anche per la salute del consumatore (fig. 9).

I fenoli purificati provenienti dalle acque reflue dell'olio extravergine di oliva si sono dimostrati un efficace antiossidante, rappresentando quindi un potenziale ingrediente per garantire la qualità e la sicurezza delle preparazioni dei prodotti maionese, carni, ittici e loro trasformati.

#### RIASSUNTO

Le olive e i loro derivati sono ricchi di esclusivi composti fenolici, non presenti in altre matrici alimentari, le cui proprietà biologiche e salutistiche sono ampiamente riconosciute (i secoiridoidi e i loro derivati). Durante il processo di estrazione meccanica dell'olio extravergine di oliva (OEVO), quasi il 50% dell'intero patrimonio fenolico del frutto passa nei co-prodotti (acque di vegetazione (AV) e sanse vergini), determinandone un marcato carico inquinante a causa della loro spiccata attività antimicrobica. D'altra parte, questo elevato contenuto in composti fenolici bioattivi esclusivi porta altresì a considerare le AV un'importante risorsa economica. Nel recente passato, numerosi sono stati gli sforzi per la messa a punto di un efficiente sistema di recupero dalle AV dei frantoi oleari per ottenere, da una parte un disinquinamento delle stesse, dall'altra un concentrato fenolico ricco di molecole bioattive, che opportunamente purificato e stabilizzato possa inserirsi nel mercato delle sostanze bioattive di origine naturale. Tra i molti processi tecnologici impiegati, un sistema di separazione su membrana, che non prevede l'utilizzo di solventi, risulta un valido e utile approccio ecocompatibile all'ottenimento di estratti fenolici (EF). Le più recenti attività di ricerca si sono focalizzate sulle potenziali applicazioni dell'EF in campo alimentare, sia per la produzione di alimenti funzionali sia come additivo di origine naturale, rappresentando un'alternativa a quelli alimentari conven-

zionali ad azione stabilizzante, antiossidante e antimicrobica. In particolare, l'EF è stato addizionato a diverse matrici alimentari (prodotti di origine animale e vegetale) al fine di valutare la sua efficacia nel migliorare sensibilmente la qualità finale del prodotto e la sua shelf-life, nonché nel limitare la produzione di sostanze nocive per la salute umana.

La valorizzazione dei co-prodotti dell'estrazione meccanica dell'OEVO, delle AV, in particolare, rappresenta un'enorme opportunità per ridare slancio e recuperare competitività all'intero settore, nonché per favorire la sostenibilità ambientale.

#### ABSTRACT

Olives and their derivatives are rich in exclusive phenolic compounds such as secoiridoids and their derivatives, not present in other food matrices, of which biological and healthy properties are largely recognized. During the mechanical extraction process of the virgin olive oil (VOO) approximately half of the whole phenolic heritage is lost, flowing into its co-products (olive vegetation waters (OVW) and virgin pomaces) determining a not negligible pollution load due to its strong antimicrobial activity. On the other hand, the co-products large amount of exclusive bioactive phenolic compounds let us to consider them as an important economic resource. In the recent past, many efforts have been spent towards the implementation and tuning of an efficient recovery system of OVW from olive oil mills, with the aim of obtaining both their de-pollution and a rich in bioactive molecule phenolic concentrate which, once purified and stabilized, is eligible to be placed into the bioactive natural substances market. Among the different technological processes employed, a solvent free membrane-based separation system has revealed to be a valid and useful eco-friendly approach to obtain phenolic extracts (PE). The most recent research activities have been focused on the PE potential applications in the food sector, oriented both on the production of functional food and on its use as natural additive, representing an alternative to those of synthetic origin with stabilizing, antioxidant and antimicrobial activity. In particular, PE has been added to various food matrices (both of vegetable and animal origin) in order to evaluate its effectiveness in improving the overall quality and shelf-life of the product as well as in lowering the unwanted and toxic compounds. Therefore, the valorization of OEVO mechanical extraction co-products represents a concrete opportunity to recover competitiveness and boost to the whole olive oil sector and, at the same time, to foster environment sustainability.

#### BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO M., PIMENTEL F.B., ALVES R.C., OLIVEIRA M.B.P.P. (2015): *Phenolic compounds from olive mill wastes: Health effects, analytical approach and application as food antioxidants*, «Trends Food Sci. Technol.», 45, pp. 200-211.
- ASIOLI D., ASCHEMANN-WITZEL J., CAPUTO V., VECCHIO R., ANNUNZIATA A., NÆS T., VARELA P. (2017): *Making sense of the "clean label" trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications*, «Food Research International», 99, pp. 58-71.

- BALZAN S., TATICCHI A., CARDABOZZO B., URBANI S., SERVILI M., DI LECCE A., ZABALBA I.A., RODRIGUEZ-ESTRADA M.T., NOVELLI E., FASOLATO L. (2017): *Effect of phenols extracted from a by-product of the oil mill on the shelf-life of raw and cooked fresh pork sausages in the absence of chemical additives*, «LWT - Food Science and Technology», 85, pp. 89-95.
- CARRARO L., FASOLATO L., MONTEMURRO F., MARTINO M.E., BALZAN S., SERVILI M., NOVELLI E., CARDAZZO B. (2014): *Polyphenols from olive mill waste affect biofilm formation and motility in Escherichia coli K-12*, «Microb. Biotechnol.», 7 (3), pp. 265-275.
- CASABURI L., PUOCI F., CHIMENTO A., SIRIANNI R., RUGGIERO C., AVENA P., PEZZI V. (2013): *Potential of olive oil phenols as chemopreventive and therapeutic agents against cancer: A review of in vitro studies*, «Molecular Nutrition & Food Research», 57, pp. 71-83.
- CICERALE S., LUCAS L., KEAST R. (2010): *Biological activities of phenolic compounds present in virgin olive oil*, «Int. J. Mol. Sci.», 1, pp. 458-479.
- DE MARCO E., SAVARESE M., PADUANO A., SACCHI R. (2007): *Characterization and fractionation of phenolic compounds extracted from olive oil mill wastewaters*, «Food Chemistry», 104 (2), pp. 858-867.
- DERMECHE S., NADOUR M., LARROCHE C., MOULTI-MATI F. & MICHAUD P. (2013): *Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies*, «Process Biochemistry», 48 (10), pp. 1532-1552.
- EFSA (2012): *Scientific opinion on the re-evaluation of butylated hydroxytoluene BHT (E 321) as a food additive*, «EFSA Journal», 10 (3), pp. 2588-2631.
- EFSA PANEL ON DIETETIC PRODUCTS, NUTRITION AND ALLERGIES (NDA) (2011): *Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to polyphenols in olive and protection of LDL particles from oxidative damage (ID 1333, 1638, 1639, 1696, 2865) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006*, «EFSA Journal», 9 (4), 2033, pp. 1-25.
- ESPOSTO S., SELVAGGINI R., TATICCHI A., VENEZIANI G., SORDINI B., SERVILI M. (2020): *Quality evolution of extra-virgin olive oils according to their chemical composition during 22 months of storage under dark conditions*, «Food Chemistry», 311.
- ESPOSTO S., TATICCHI A., DI MAIO I., URBANI S., VENEZIANI G., SELVAGGINI R., SORDINI B., SERVILI M. (2015): *Effect of an olive phenolic extract on the quality of vegetable oils during frying*, «Food Chemistry», 176, pp. 184-192.
- ESPOSTO S., TATICCHI A., URBANI S., SELVAGGINI R., VENEZIANI G., DI MAIO I., SORDINI B., SERVILI M. (2017): *Effect of light exposure on the quality of extra virgin olive oils according to their chemical composition*, «Food Chemistry», 229, pp. 726-733.
- FASOLATO L., CARDAZZO B., BALZAN S., CARRARO L., ANDREANI A.N., TATICCHI A., NOVELLI E. (2016b): *Using a concentrate of phenols obtained from olive vegetation water to preserve chilled food: Two case studies*, «Ital J Food Saf.», 5 (2), p. 5651.
- FASOLATO L., CARDAZZO B., BALZAN S., CARRARO L., TATICCHI A., MONTEMURRO F., NOVELLI E. (2015): *Effect of minimum bactericidal concentration of phenols extracted from oil vegetation water on spoilers, starters and food-borne bacteria*, «Ital. J. Food Saf.», 4, pp. 75-77.
- FASOLATO L., CARRARO L., FACCO P., CARDAZZO B., BALZAN S., TATICCHI A., ..., NOVELLI E. (2016a): *Agricultural by-products with bioactive effects: A multivariate approach to evaluate microbial and physicochemical changes in a fresh porksausage enriched with phenolic compounds from olive vegetation water*, «International Journal of Food Microbiology», 2 (228), pp. 34-43.

- GULLÓN P., GULLÓN B., ASTRAY G., CARPENA M., FRAGA-CORRAL M., PRIETO M.A., SIMAL-GANDARA J. (2020): *Valorization of by-products from olive oil industry and added-value applications for innovative functional foods*, «Food Res. Int.», 137, 109683.
- KEARNEY J. (2010): *Food consumption trends and drivers*, «Phil. Trans. R. Soc. B.», 365, pp. 2793-2807.
- MENCHETTI L., TATICCHI A., ESPOSTO S., SERVILI M., RANUCCI D., BRANCIARI R., MIRAGLIA D. (2020): *The influence of phenolic extract from olive vegetation water and storage temperature on the survival of Salmonella Enteritidis inoculated on mayonnaise*, «LWT», 129, 109648.
- MIRAGLIA D., CASTRICA M., MENCHETTI L., ESPOSTO S., BRANCIARI R., RANUCCI D., URBANI S., SORDINI B., VENEZIANI G., SERVILI M. (2020): *Effect of an olive vegetation water phenolic extract on the physico-chemical, microbiological and sensory traits of shrimp (Parapenaeus longirostris) during the shelf-life*, «Foods», 9, 1647.
- MIRAGLIA D., ESPOSTO S., BRANCIARI R., URBANI S., SERVILI M., PETRUCCI S., RANUCCI D. (2016): *Effect of a phenolic extract from olive vegetation water on fresh salmon steak quality during storage*, «Italian Journal of Food Safety», 5 (4):10.4081/ijfs.2016.6167.
- MONTEDORO G.F., SERVILI M., BALDIOLI M., MINIATI E., MACCHIONI A. (1993): *Simple and hydrolyzable compounds in virgin olive oil. 3. Spectroscopic characterizations of the secoiridoid derivatives*, «Journal of Agricultural and Food Chemistry», 41 (11), pp. 2228-2234.
- NIAOUNAKIS M., HALVADAKIS C.P. (2004): *The Olive-Mill Waste Management: Literature Review and Patent Survey*, Typothito-George Dardanos, Athens.
- NASINI L., GIGLIOTTI G., BALDUCCINI M.A., FEDERICI E., CENCI G., PROIETTI P. (2013): *Effect of solid olive-mill waste amendment on solid fertility and olive (Olea europaea L.)*, «Agriculture, Ecosystems and Environment», 164, pp. 292-297.
- OBIED H.K., PRENZLER P.D., OMAR S.H., ISMAEL R., SERVILI M., ESPOSTO E., TATICCHI A., URBANI S., SELVAGGINI R. (2012): *Pharmacology of olive biophenols*, Edited by Fishbein J.C., «Advances in Molecular Toxicology», 6, pp. 195-242.
- PIRODDI M., ALBINI A., FABIANI R., GIOVANNELLI L., LUCERI C., NATELLA F., ROSIGNOLI P., ROSSI T., TATICCHI A., SERVILI M., GALLI F. (2017): *Nutrigenomics of extra-virgin olive oil: A review*, «International Union of Biochemistry and Molecular Biology», 43 (1), pp. 17-41.
- PROIETTI P., NASINI L., ILARIONI L., SALAH S., TATICCHI A., SORDINI B., SERVILI M. (2012): *Utilizzazione e valorizzazione delle sanse vergini e delle acque di vegetazione*, in Collana divulgativa dell'Accademia, volume XXII.
- ROILA R., VALIANI A., RANUCCI D., ORTENZI R., SERVILI M., VENEZIANI G., BRANCIARI R. (2019a): *Antimicrobial efficacy of a polyphenolic extract from olive oil by-product against "Fior di latte" cheese spoilage bacteria*, «International Journal of Food Microbiology», 295, pp. 49-53.
- ROILA R., RANUCCI D., VALIANI A., GALARINI R., SERVILI M., BRANCIARI R. (2019b): *Antimicrobial and anti-biofilm activity of olive oil by-products against Campylobacter spp. Isolated from chicken meat*, «Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria», 18 (1), pp. 43-52.
- REGOLAMENTO (UE) n. 412/2012 della Commissione, del 15 maggio 2012.
- SERVILI M., ESPOSTO E., TATICCHI A., URBANI S., DI MAIO I., VENEZIANI G., SELVAGGINI R. (2015): *New approaches to virgin olive oil quality, technology, and by-products valorization*, «European Journal of Lipid Science and Technology», 117, pp. 1882-1892.
- SERVILI M., ESPOSTO S., FABIANI R., URBANI S., TATICCHI A., MARIUCCI F., SELVAGGINI

- R., MONTEDORO GF. (2009): *Phenolic compounds in olive oil: antioxidant, health and sensory activities according to their chemical structure*, «Inflammopharmacology», 17, pp. 1-9.
- SERVILI M., ESPOSTO S., VENEZIANI G., URBANI S., TATICCHI A., DI MAIO I., SELVAGGINI R., SORDINI B., MONTEDORO G.F. (2011a): *Improvement of bioactive phenol content in virgin olive oil with an olive-vegetation water concentrate produced by membrane treatment*, «Food Chemistry», 124 (4), pp. 1308-1315.
- SERVILI M., RIZZELLO C.G., TATICCHI A., ESPOSTO S., URBANI S., MAZZACANE F., DI MAIO I., SELVAGGINI R., GOBBETTI M., DI CAGNO R. (2011b): *Functional milk beverage fortified with phenolic compounds extracted from olive vegetation water, and fermented with  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA)-producing and potential probiotic lactic acid bacteria*, «Int. J. Food Microb.», 147, pp. 45-52.
- SERVILI M., SELVAGGINI R., ESPOSTO S., TATICCHI A., MONTEDORO GF., MOROZZI G. (2004): *Health and sensory properties of virgin olive oil hydrophilic phenols: agronomic and technological aspects of production that affect their occurrence in the oil*, «Journal of Chromatography A», 1054, pp. 113-127.
- SERVILI M., SELVAGGINI R., ESPOSTO S., TATICCHI A., MONTEDORO GF., MOROZZI G. (2004): *Health and sensory properties of virgin olive oil hydrophilic phenols: agronomic and technological aspect of production that affect their occurrence in the oil*, «J. Chromatogr. A», 1054, pp. 113-27.
- SERVILI M., SORDINI B., ESPOSTO S., URBANI S., VENEZIANI G., DI MAIO I., SELVAGGINI R., TATICCHI A. (2013): *Biological activities of phenolic compounds of extra virgin olive oil*, «Antioxidants», 3 (1), pp. 1-23.
- SHAHIDI F., AMBIGAIPALAN P. (2015): *Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects – a review*, «J. Funct. Foods», 18, pp. 820-897.
- SORDINI B., VENEZIANI G., SERVILI M., ESPOSTO S., SELVAGGINI R., LOREFICE A., TATICCHI A. (2019): *A quanti-qualitative study of a phenolic extract as a natural antioxidant in the frying processes*, «Food Chemistry», 279, pp. 426-434.
- TATICCHI A., ESPOSTO S., URBANI S., VENEZIANI G., SELVAGGINI R., LOREFICE A., SORDINI B., SERVILI M. (2017): *Effect of an olive phenolic extract added to the oily phase of a tomato sauce, on the preservation of phenols and carotenoids during domestic cooking*, «LWT, Food Science and Technology», 84, pp. 572-578.
- VENEZIANI G., NOVELLI E., ESPOSTO E., TATICCHI A., SERVILI M. (2017): *Applications of recovered bioactive compounds in food products*, Edit by Galanakis C.M., *Olive Mill Waste: Recent Advances for Sustainable Management*, pp. 231-253.

FRANCESCO ZECCA<sup>1</sup>

## L'utilizzo della risorsa idrica tra necessità di efficienza e politiche pubbliche

<sup>1</sup> Sapienza Università di Roma

### I. INTRODUZIONE

L'acqua è la risorsa naturale più abbondante del pianeta Terra e la sua quantità può mantenersi costante nel tempo grazie ai processi di rigenerazione che la caratterizzano.

Le sue particolarità in termini di bene sono riconducibili al fatto che la risorsa viene utilizzata per il soddisfacimento di molteplici bisogni.

Oltre che essere destinata a garantire i bisogni vitali l'acqua costituisce una risorsa di primaria importanza all'interno del sistema economico.

Il suo utilizzo è infatti indispensabile in tutti i processi produttivi che hanno come obiettivo la creazione di valore a partire dall'agricoltura.

La disponibilità di acqua è un rilevante e irrinunciabile fattore di competitività proprio nel settore agricolo sia per la produzione vegetale che per la produzione animale. Gli agricoltori utilizzano la maggior parte dell'acqua di superficie ricoprendo così un ruolo fondamentale nella gestione della risorsa.

La disponibilità di acqua utilizzabile varia in funzione delle modalità di sfruttamento della risorsa. Un'intensità di sfruttamento superiore alla capacità di rigenerazione incide direttamente sulle possibilità di utilizzo riducendo la corretta fruizione della risorsa sia come ineludibile bisogno da garantire sia come imprescindibile fattore di sviluppo economico.

Nonostante queste premesse l'acqua è stata considerata per lungo tempo una risorsa abbondante e disponibile in quantità illimitata e questo ha portato a una gestione caratterizzata da una continua espansione dell'offerta e alla fornitura di un servizio idrico a prezzi considerati non remunerativi.

La sottovalutazione del bene non ha inciso positivamente sulla adeguatezza della risorsa in termini di disponibilità rispetto alle esigenze e non ne ha disincentivato l'uso in quantità superiori al tasso di rigenerazione.

È opportuno sottolineare a questo proposito come solo il 3% circa delle risorse idriche del pianeta sia costituita da acqua dolce e di questo solo l'1% è disponibile per le attività umane.

A ciò occorre aggiungere una distribuzione non uniforme sulla superficie terrestre cui l'Italia non fa eccezione.

Il ridursi delle disponibilità della risorsa idrica ha portato con sé inevitabilmente l'aumento delle conflittualità avendo conseguenze negative soprattutto in settori come l'agricoltura che ne beneficia in modo prioritario.

Il diminuire delle disponibilità ha inoltre implicato la ricerca di soluzioni in grado di efficientare l'uso dell'acqua introducendo criteri economici.

Il presente contributo è stato redatto allo scopo di arrivare alla evidenziazione delle attuali problematiche a livello italiano in merito all'utilizzo dell'acqua nella sua duplice veste di bene economico e di bene ambientale percepito come bene comune di cui assicurare la disponibilità e l'accesso.

Parallelamente ci si è posti l'obiettivo di valutare se le politiche pubbliche portate avanti nel corso del tempo abbiano avuto modo di rispondere in modo adeguato alle esigenze espresse relativamente a un uso efficiente della risorsa.

Ciò al fine di proporre suggerimenti utili a correggerne gli eventuali squilibri prendendo a riferimento sia i contenuti espressi dalla Direttiva Comunitaria n. 60/2000/CE e dal suo recepimento in Italia sia quanto emerso a livello internazionale in merito agli orientamenti sull'uso della risorsa quale diritto umano imprescindibile.

Per il raggiungimento degli obiettivi lo studio è stato condotto a partire da un'analisi riguardante le modalità d'uso della risorsa idrica e i relativi impatti con particolare riferimento al settore agricolo.

Successivamente si è passati a un approfondimento delle politiche pubbliche portate avanti ai diversi livelli. L'indagine è stata condotta basandosi su un'aggiornata indagine bibliografica avente come ambito prioritario l'uso della risorsa in agricoltura, la sua allocazione e la sua accessibilità. Il lavoro termina con una discussione riguardante le problematiche emerse e alcune considerazioni a carattere conclusivo.

## 2. L'USO DELLA RISORSA IDRICA

L'uso della risorsa idrica a livello globale riguarda in misura decisamente maggioritaria l'agricoltura con circa il 70% dei prelievi (FAO, 2020).

Tra tutti i settori economici quello agricolo è pertanto il più sensibile alla scarsità d'acqua rappresentando al contempo il settore con il più ampio margine di aggiustamento nell'uso della risorsa attraverso la definizione di politiche volte alla stabilizzazione delle disponibilità nel tempo.

Nella maggior parte delle regioni del mondo, l'evapotraspirazione da terreni agricoli irrigati rappresenta di gran lunga il maggiore prelievo di acqua consumata per uso umano.

La costante crescente domanda di prodotti agricoli per soddisfare le esigenze di una crescente popolazione continua a essere il principale motore dell'uso dell'acqua in agricoltura.

Inoltre, un costante sviluppo economico, in particolare nei mercati delle economie emergenti si è tradotto in domanda di una dieta più ricca di carne e prodotti lattiero-caseari, esercitando ulteriori pressioni sulle risorse idriche (UN-Water, 2012). Si prevede che entro il 2050 sarà necessario il 60% in più di cibo per soddisfare la domanda di una popolazione di oltre 9 miliardi di persone.

Alle esigenze rappresentate si contrappone una disponibilità sempre più limitata delle risorse disponibili cui sembrerebbero corrispondere iniziative tese in primo luogo a un aumento dell'efficienza che per il settore primario è rappresentata dal rapporto tra il valore della quantità di risorsa idrica impiegata e il valore del prodotto agricolo ottenuto.

La produttività economica dell'acqua così espressa rappresenterebbe un indice di assoluto rilievo per valutare compiutamente l'efficienza del servizio.

Tuttavia, la mancanza di informazioni circa i costi/ricavi generati dall'uso dell'acqua nelle singole aziende rappresenta uno dei limiti principali dell'intervento pubblico nel settore irriguo (Viaggi, 2011).

La crescente limitatezza della risorsa è stata ben evidenziata dai modelli previsionali messi a punto dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2008) che hanno sottolineato l'intensificarsi di una distribuzione irregolare delle precipitazioni con l'aumento delle disponibilità di acqua in aree ad alta latitudine e la riduzione in quelle a media latitudine.

Per quanto riguarda gli eventi meteorologici estremi, i modelli previsionali prevedono un consistente aumento della siccità entro la fine del XXI secolo indicando una crescita della domanda d'acqua a uso irriguo a livello globale compresa tra il 5 e l'8% entro il 2070.

Secondo la FAO (2015) il consumo di acqua irrigua aumenterà del 14% entro il 2030.

Gli scenari ipotizzati hanno sottolineato come, a causa del cambiamento climatico in atto, potrebbero intensificarsi problemi di aridità diffusa, accrescendo le necessità irrigue nell'area mediterranea.

L'agricoltura è un utente significativo delle risorse idriche anche all'interno dell'Unione Europea incidendo per più del 60% sul consumo totale di acqua. L'entità e l'importanza dei prelievi sono significativamente maggiori negli Stati membri meridionali come l'Italia dove il ricorso all'acqua quale fattore limitante la produzione agricola risulta diversificato a livello territoriale.

Mentre nel Nord Italia si registrano le condizioni climatiche più favorevoli e realtà territoriali meno complicate in relazione all'accesso all'acqua, nelle aree meridionali e nelle isole permane un importante squilibrio tra offerta e domanda.

Tale squilibrio, oltre che a ragioni di carattere ambientale, appare riconducibile allo stato in cui versa la rete infrastrutturale che determina una perdita della risorsa, per dispersione lungo la rete, di quasi il 50%.

La riduzione dell'offerta potenziale incide in primo luogo sulla domanda per usi agricoli in quanto l'uso della risorsa all'interno del settore assorbe più del 50% dei prelievi contro il 33% dell'industriale e dell'energetico e il 19% del settore civile. Quest'ultima domanda è in costante ascesa e l'incremento interessa in modo particolare il consumo per usi turistici. Secondo l'ISTAT (2019) l'Italia è al primo posto nell'Unione Europea per i prelievi di acqua a uso potabile con un consumo pari a 428 litri per abitante al giorno. Poco meno della metà del volume di acqua prelevata alla fonte non raggiunge gli utenti finali a causa delle dispersioni idriche dalle reti di adduzione e distribuzione precedentemente citate.

Nell'annata agraria 2015-2016 la superficie irrigabile (superficie attrezzata per l'irrigazione), distribuita su circa 572 mila aziende agricole italiane, è stata pari a 4.123 migliaia di ettari. Rispetto al 1982 l'area irrigabile è cresciuta di circa il 4,2%. La superficie irrigata effettivamente è stata pari a 2553 migliaia di ettari e ha riguardato 491 mila aziende.

Rispetto al 1982, se da un lato la superficie irrigata ha fatto registrare un seppur lieve aumento (1,7%), dall'altro il numero di aziende che hanno praticato l'irrigazione si è ridotto del 20,9%. In Italia la tendenza all'utilizzo delle potenzialità irrigue misurata dal rapporto tra superficie irrigata e superficie irrigabile è pari a oltre il 60% e l'irrigazione riguarda il 20% circa della superficie utilizzabile (ISTAT, 2019).

Le pratiche irrigue adottate nel corso del tempo hanno progressivamente evidenziato il tentativo da parte degli agricoltori di gestire il ciclo dell'acqua in modo più efficiente rendendone indispensabile il controllo sul piano locale attraverso l'irrigazione e il drenaggio.

Le necessità di efficientamento non sembrano tuttavia aver trovato riscontro nella tariffazione applicata all'uso della risorsa e l'acqua utilizzabile sem-

brerebbe disponibile a costi generalmente inferiori a quelli applicati in altri settori produttivi.

Occorre d'altra parte considerare come un rialzo dei prezzi di fornitura potrebbe causare effetti indesiderati sulle scelte produttive degli agricoltori, o avere implicazioni ambientali non immediatamente ipotizzabili.

Le tariffe comunemente applicate risultano incoerenti non tanto con le finalità di recupero del costo dei servizi idrici quanto con la necessità di incentivare usi efficienti ed evitare sprechi (Monaco e Sali, 2014).

Le condizioni di crisi finanziaria hanno influito negativamente riguardo a interventi pubblici legati alle infrastrutture irrigue (The European House Ambrosetti, 2019).

L'Italia ha una rete infrastrutturale con circa il 60% delle infrastrutture che ha più di 30 anni e con un 47% di acqua che viene dispersa lungo la rete.

Ciononostante, il tasso d'investimento nel settore idrico è tra i più bassi d'Europa.

### 3. LE POLITICHE PUBBLICHE

Le particolari caratteristiche del bene e le funzioni assicurate dallo stesso hanno comportato nel tempo l'adozione di politiche pubbliche volte a intervenire nelle problematiche di diversa natura riguardanti l'uso della risorsa idrica.

Dette politiche sono andate intersecandosi inevitabilmente nel tempo con quelle riguardanti l'intervento pubblico in agricoltura rappresentando un tema di assoluto rilievo (Zucaro e Luzzi Conti, 2013).

Nell'ambito delle priorità previste dal Regolamento Comunitario per lo Sviluppo Rurale per il periodo 2014-2020 due obiettivi prioritari sono ascrivibili al tema dell'acqua riguardando il miglioramento nella gestione delle risorse idriche al fine di contribuire a preservare, ripristinare e valorizzare gli ecosistemi dipendenti dall'agricoltura e dalle foreste e l'aumento dell'efficienza nell'uso dell'acqua per l'agricoltura, al fine di contribuire a incoraggiare l'uso efficiente delle risorse. Numerosi articoli del regolamento inoltre fanno specifico riferimento alla risorsa idrica.

Nel caso della misura in infrastrutture irrigue del Programma di Sviluppo Rurale Nazionale per il periodo 2014-2020 (MIPAAF, 2014) era prevista un'ampia e diversificata tipologia di interventi tutti finalizzati al miglioramento dell'uso della risorsa idrica. Di detti interventi, pur ritenuti tutti necessari rispetto alle criticità evidenziate, non venivano indicate né le priorità tipologiche né, nell'ambito di queste, gli investimenti irrigui da realizzare a livello territoriale.

Con l'emanazione della Direttiva 2000/60 è stato istituito un quadro di riferimento comune in materia di acqua basato sui principi ispiratori della politica ambientale dell'Unione Europea con particolare riferimento alle necessità di miglioramento della qualità e all'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali (Boggia e Rocchi, 2008).

L'applicazione della direttiva ha riguardato principalmente la qualità dell'acqua e meno la quantità. Quest'ultima venne interpretata come una questione di gestione delle risorse idriche, in cui gli Stati membri avevano il potere di veto in seno al Consiglio europeo su tutte le decisioni. Tutto ciò nonostante la maggior parte delle altre decisioni in materia ambientale fosse presa con un voto a maggioranza (Barth e Fawell, 2001).

La direttiva ha dimostrato di ispirarsi a quanto sancito dalla Comunità Internazionale a partire dall'International Conference on Water and Environment tenutasi a Dublino nel corso del 1992.

Nella Conferenza veniva infatti affermato per la prima volta il principio che l'acqua è una risorsa vulnerabile essenziale per sostenere la vita, lo sviluppo e l'ambiente alla quale occorre riconoscere un valore economico.

Già allora molti osservatori temevano che l'adozione di questo principio avrebbe portato a prezzi dell'acqua che avrebbero danneggiato gli interessi degli agricoltori, in particolare di quelli maggiormente marginalizzati dal punto di vista economico.

Per questo motivo fu aggiunto che, oltre ad avere una funzione economica, l'acqua dovesse essere considerata un bene sociale, «qualunque cosa ciò dovesse implicare».

Secondo tale impostazione la gestione del bene doveva comunque avvenire attraverso un'allocazione efficiente, ponendo fine agli sprechi e ai danni ambientali legati a un eccessivo sfruttamento.

L'acqua è un bene speciale perché non ha sostituti e quindi la sua assegnazione e il suo prezzo sono una questione sociale che non può essere lasciata alle sole forze di mercato ma, nonostante ciò, l'acqua dovrebbe avere un prezzo al fine di raggiungere due obiettivi, vale a dire recuperare i costi di fornitura del particolare servizio idrico e fornire un chiaro segnale agli utilizzatori che l'acqua è effettivamente un bene scarso che dovrebbe essere utilizzato saggiamente (Savenije, 2002).

Quanto affermato ha trovato successivamente riscontro nell'approccio IWRM (Integrated Water Resources Management) accettato a livello internazionale come la strada da percorrere per uno sviluppo e una gestione efficiente, equa e sostenibile delle limitate risorse idriche del mondo e per far fronte ai conflitti riguardanti l'uso della risorsa.

Detto approccio esprime al meglio le sue potenzialità quando si basa su strategie equilibrate maggiormente corrispondenti ai contesti e alle capacità locali (Butterworth et al., 2010).

I principi cui faceva riferimento la Direttiva quale postulato degli obiettivi da perseguire erano: precauzione e azione preventiva; riduzione dei danni causati ad ambiente e persone; applicazione del criterio ordinatore del chi inquina paga; informazione e cooperazione con tutti i soggetti interessati.

Coerenti con detti principi e con il quadro generale di riferimento erano i diversi obiettivi specifici che si proponeva di raggiungere la direttiva: ampliare la protezione delle acque; raggiungere lo stato "buono" delle acque entro il 31 dicembre 2015; gestire le risorse idriche sulla base di bacini idrografici indipendentemente dalle strutture amministrative; procedere attraverso un'azione che unisse limiti delle emissioni e standard di qualità; riconoscere a tutti i servizi idrici il giusto prezzo tenendo conto del costo economico reale; rendere partecipi i cittadini alle scelte adottate.

La Direttiva è intervenuta in modo determinante sotto il profilo economico sancendo l'applicabilità, anche se non vincolante, del principio del recupero dei costi relativi ai servizi idrici prevedendo l'adozione di misure adeguate volte ad attribuire al prezzo dell'acqua il costo complessivo (*full cost*) di tutti i servizi a essa connessi.

Attraverso l'introduzione del *full cost* il legislatore intendeva operare in forma unitaria comprendendo in un'unica voce tutti gli aspetti caratterizzanti, ottemperando all'obiettivo di non trascurare alcun elemento di stima.

In particolare, la Direttiva prevedeva che per ciascun distretto idrografico in cui sarebbero stati divisi i territori dei diversi Stati membri avrebbero dovuto realizzarsi un'analisi economica dei diversi utilizzi idrici e attraverso questa individuare politiche dei prezzi dell'acqua che fossero in grado di incentivare adeguatamente gli utenti a usare acqua in modo efficiente, contribuendo agli obiettivi ambientali e fornendo un adeguato contributo al recupero dei costi dei servizi idrici a carico dei vari settori di impiego dell'acqua, incluso il settore agricolo.

Alla fine del 2019 la Commissione Europea ha pubblicato un rapporto riguardante lo stato di salute della Direttiva in cui ha messo in evidenza come la sua applicazione abbia consentito di creare un quadro di governance per la gestione integrata dell'acqua in 110.000 corpi idrici nell'UE, rallentando il deterioramento della risorsa e riducendo l'inquinamento chimico anche se, per diversi motivi, non è stato raggiunto l'obiettivo dello stato "buono" per tutte le acque entro il 31 dicembre 2015. Il rapporto sottolinea come il raggiungimento parziale degli obiettivi sia in gran parte dovuto a finanzia-

menti insufficienti, a una attuazione lenta e a un'insufficiente integrazione degli obiettivi ambientali nelle politiche settoriali e non a carenze di natura legislativa, confermando la validità dell'impianto.

La Direttiva 2000/60/CE è stata recepita in Italia attraverso il Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 con il quale sono state abrogate alcune disposizioni precedenti quali la legge 36/94, la legge di difesa del suolo n. 183/89, il Decreto Legislativo 152/99 riguardante la tutela ambientale dei corpi idrici.

In particolare, nella parte terza del decreto 152/2006 sono state introdotte le disposizioni necessarie a riformare l'assetto amministrativo relativamente al governo dei bacini idrografici.

Il territorio nazionale è stato diviso in otto distretti idrografici governati da Autorità di bacino distrettuale che provvedono a redigere il proprio Piano di bacino che «ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ed alla corretta utilizzazione della acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato» (art. 65).

Il piano di gestione rappresenta un'articolazione interna del Piano di bacino distrettuale e «costituisce pertanto piano stralcio del Piano di bacino e viene adottato e approvato secondo le procedure stabilite per quest'ultimo» (art. 117).

Il Piano di gestione rappresenta a tutti gli effetti lo strumento attuativo degli obiettivi di pianificazione e programmazione indicati nei singoli Piani di bacino.

L'azione statale di pianificazione s'interseca, secondo il legislatore (comma 3. art 142), con quella degli Enti Locali che attraverso l'Ente di Governo dell'Ambito Territoriale Ottimale (EGATO), cui gli stessi Enti sono obbligati a partecipare, svolge le funzioni di organizzazione del Servizio Idrico Integrato (SII)<sup>1</sup>, di scelta della forma di gestione, di affidamento della gestione del servizio e del relativo controllo.

L'art. 149 affida all'EGATO il compito di provvedere alla predisposizione e/o all'aggiornamento del piano d'ambito<sup>2</sup>, e disciplina i contenuti del medesimo.

La tariffa costituisce, ai sensi dell'art. 154 del d.lgs. 152/2006, il corri-

<sup>1</sup> Il SII è costituito dall'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua a usi civili di fognatura e di depurazione delle acque reflue.

<sup>2</sup> Rappresenta lo strumento programmatico cardine dell'EGATO, risultato di un'attività di ricognizione delle infrastrutture esistenti, della stesura di un programma degli interventi infrastrutturali necessari e di un piano finanziario connesso a un modello gestionale e organizzativo.

spettivo del SII e viene determinata tenendo conto: della qualità della risorsa idrica e del servizio fornito, delle opere e degli adeguamenti necessari; dell'entità dei costi, in modo che sia assicurata la copertura integrale dei costi di investimento e di esercizio secondo il principio del recupero dei costi (*full cost*) e secondo il principio del "chi inquina paga".

Il Decreto Legislativo 135/2009 è intervenuto successivamente per disciplinare la gestione nell'uso della risorsa idrica prevedendo, tra l'altro, che l'affidamento del servizio idrico avvenisse tramite gare a evidenza pubblica e il ricorso a società mista dove il privato doveva essere socio operativo con una quota di partecipazione non inferiore al 40%.

Inoltre l'articolo 15 del decreto prevedeva che tutte le forme di affidamento della gestione del servizio idrico integrato dovessero avvenire nel rispetto dei principi di autonomia gestionale del soggetto gestore e di piena ed esclusiva proprietà pubblica delle risorse idriche, il cui governo spetta esclusivamente alle istituzioni pubbliche, in particolare in ordine alla qualità e prezzo del servizio, in conformità a quanto previsto dal decreto 152/2006, garantendo il diritto alla universalità e accessibilità del servizio.

Nonostante le garanzie indicate il decreto è stato abrogato a seguito di referendum promosso nel 2012 sulla base dell'assunto che la privatizzazione del servizio avrebbe determinato un aumento indiscriminato delle tariffe precludendo l'accesso al servizio stesso.

I promotori del referendum sostenevano, inoltre, che attraverso l'applicazione del disposto legislativo sarebbero state intaccate le caratteristiche di bene pubblico della risorsa.

Gli attuali orientamenti normativi in materia sono rappresentati dalle proposte di legge n. 52 e n. 773 (Camera dei deputati, 2018) finalizzati entrambi a dettare i principi con cui deve essere utilizzato, gestito e governato il patrimonio idrico nazionale.

Di particolare interesse quanto disposto al comma 5 dell'art. 3 della proposta 52 e alla lettera b), capoverso 4.1, del comma 4 dell'art. 2 della proposta 773 dove si afferma che l'uso dell'acqua per l'agricoltura e per l'alimentazione animale è prioritario rispetto ai rimanenti usi.

Nel citato capoverso 4.1 del comma 4 dell'art. 2 dell'A.C. 773 viene altresì disposto che l'utilizzo dell'acqua per l'agricoltura e per l'alimentazione animale deve essere reso efficiente tramite l'adozione di tutte le migliori tecniche e dei metodi disponibili al fine di limitare il più possibile gli sprechi a parità di risultato atteso.

Nell'articolo 1 della proposta 52 viene inoltre stabilito che la responsabilità primaria dello Stato di garantire la piena realizzazione del diritto all'acqua

e ai servizi igienico-sanitari resta ferma indipendentemente dal regime giuridico prescelto per la gestione del servizio idrico.

Il comma 2 dell'art. 3 della proposta 52 infine dispone che nel settore dei servizi idrici è vietato sottoscrivere accordi di liberalizzazione che non garantiscano la piena realizzazione del diritto umano all'acqua e la tutela della risorsa idrica.

Complessivamente in tema di gestione entrambi le proposte di legge confermano quanto anticipato con il D.P.C.M. del 13 ottobre 2016, attraverso il quale il legislatore ha istituito la tariffa sociale del SII da applicare alle utenze domestiche in condizioni economiche disagiate, applicabile tramite agevolazioni e bonus ma vincolata al recupero con il metodo tariffario di quanto stanziato a tali fini.

Detto provvedimento s'inserisce nel solco dell'identificazione dell'acqua come bene comune appartenente a tutti gli esseri viventi e loro diritto imprescindibile. Per questo motivo il suo accesso deve essere comunque garantito, indipendentemente dai costi economici, in quantità e qualità sufficiente.

La collettività diviene così garante del diritto all'acqua attraverso la diretta partecipazione dei cittadini.

Tale impostazione si rifà a quanto affermato dalla Conferenza delle Nazioni Unite sull'acqua tenutasi a Mar del Plata nel 1977 che ha sancito per la prima volta il diritto di tutte le popolazioni ad accedere alla risorsa in quantità e qualità corrispondenti ai propri bisogni fondamentali.

A fronte dell'evoluzione normativa Nazionale il dibattito a livello Internazionale sull'uso della risorsa è stato parallelamente rilanciato dal World Water Council<sup>3</sup>.

Dal 1997 ad oggi si sono tenuti otto Forum promossi dal World Water Forum (2020).

Il 1° Forum tenutosi a Marrakech nel 1997 si concludeva con il riconoscimento del bisogno d'accesso all'acqua attraverso la definizione di un meccanismo effettivo di gestione che supportando e preservando gli ecosistemi desse luogo a strategie per un uso complessivamente più efficiente.

Il 2° Forum svoltosi a The Hague nel 2000 postulava il coinvolgimento di tutti i portatori di interesse nella gestione indicando per la prima volta la necessità di politiche di prezzo pieno.

Il 3° Forum del 2003 sottolineava la necessità di ottimizzare i consumi

<sup>3</sup> Organizzazione Internazionale comprendente soggetti di diversa estrazione e competenze che promuove ogni tre anni il Forum mondiale sull'acqua con l'obiettivo di favorire la gestione della risorsa su basi sostenibili.

industriali avviando politiche di disinquinamento e di mitigazione dei rischi dovuti a contaminazioni irreversibili da grandi disastri.

Nel riprendere la problematica del prezzo pieno il Forum evidenziava la definizione di un sistema tariffario che tenesse conto delle problematiche sociali a esso connesse e della responsabilità collettiva come riferimento base per la gestione idrica.

Il 4° Forum di Città del Messico 2006 non produceva risultati di rilievo se non quello di ribadire come l'accesso all'acqua fosse un diritto umano imprescindibile.

Il 5° Forum di Istanbul 2009 registrava un passo indietro in termini di sostenibilità sociale in quanto l'accesso all'acqua veniva definito come bisogno e non come diritto fondamentale anche se contemporaneamente veniva auspicata una gestione più razionale della domanda d'acqua e una maggiore incidenza nella lotta contro l'inquinamento delle falde acquifere.

Il 6° Forum di Marsiglia 2012 ha sottolineato l'importanza di tariffe pagate dagli utilizzatori, tasse pagate da tutta la popolazione e aiuti internazionali quali elementi di riferimento delle fonti finanziarie da utilizzare.

Particolarmente importante è la sottolineatura che le tariffe vanno applicate secondo criteri di sostenibilità nella sua accezione più ampia e che il tutto sia inserito all'interno di un quadro di riferimento giuridico adatto.

Il 7° Forum del 2015 ha sottolineato come la gestione sostenibile delle risorse idriche rappresentasse una responsabilità collettiva e che fosse vitale per lo sviluppo di tutti i Paesi.

L'8° Forum del 2018 ha indicato una serie di cambiamenti costruttivi da sostenere urgentemente a livello globale riguardanti la scarsità delle risorse idriche, la responsabilità degli accordi istituzionali in materia di acque, il finanziamento degli interventi riguardanti gli investimenti e l'uso della risorsa idrica, l'adozione di soluzioni sostenibili, l'incoraggiamento della cooperazione transfrontaliera.

Tratto comune di tutti i Forum è stata l'accentuazione del tema gestionale della risorsa idrica e di come renderlo compatibile con le diverse esigenze di natura ambientale e sociale.

#### 4. DISCUSSIONE

Il livello raggiunto dalla superficie irrigabile dell'agricoltura italiana può essere considerato in linea con le necessità di perfezionamento delle iniziative irrigue programmate nel corso del tempo.

Le necessità infrastrutturali paiono pertanto necessarie con riferimento a interventi di ristrutturazione e ammodernamento della rete o a investimenti puntuali e a basso costo in grado di far fronte a emergenze dettate dall'influenza negativa esercitata dalla modifica delle condizioni pedoclimatiche locali.

Il mancato sfruttamento di parte della superficie irrigabile pone questioni ineludibili a partire dalla linea di sviluppo che s'intende dare all'agricoltura italiana in relazione alle vicende espresse dagli indirizzi della normativa Comunitaria.

In secondo luogo, la riduzione della superficie irrigata evidenzia come, pur a fronte dei maggiori benefici economici ritraibili dall'uso della risorsa la stessa non sia stata utilizzata per scelta da parte degli agricoltori.

Le motivazioni alla base della rinuncia paiono essere sia di ordine tecnico che di ordine economico.

Con riferimento a quest'ultimo punto è probabile che gli agricoltori che hanno perseguito tale scelta abbiano dovuto tener conto del fatto che i ricavi ipotizzati non sarebbero stati in grado di ripagare il costo del fattore produttivo impiegato. Ciò anche se la misura in cui cambiamenti di costo della risorsa e prezzi dei prodotti agricoli si traducono in variazioni di uso resta abbastanza variabile. Per quanto riguarda la riduzione del numero di aziende irrigate la stessa sia da attribuire non tanto a questioni legate all'utilizzo della pratica irrigua ma piuttosto al trend negativo che da tempo accompagna il dato relativo al numero delle aziende agricole.

Tali considerazioni impongono di riflettere sull'uso non efficiente condizi-  
vato da tutti gli utilizzatori della risorsa.

Nel caso dell'agricoltura l'acqua disponibile non pare utilizzata secondo logiche di convenienza economica basate sul contenimento degli sprechi e sui meccanismi di tariffazione che non appaiono diversificati sulla base dei livelli di efficienza e sostenibilità effettivamente rappresentati dall'offerta.

L'individuazione di un giusto prezzo anche per i diversi impieghi alternativi dell'acqua renderebbe più efficiente anche l'allocazione delle risorse idriche disponibili.

Le proposte di legge n. 52 e n. 773 non sembrano essere ispirate a criteri di allocazione economica della risorsa in quanto non tengono conto del beneficio economico ritraibile dai diversi usi e all'interno di questi.

L'analisi del quadro normativo ha evidenziato la complessa articolazione delle competenze che paiono incidere negativamente sulla funzionalità complessiva del sistema.

Particolarmente evidente è la frammentazione e sovrapposizione dei ruoli delle Amministrazioni competenti in materia di risorse idriche.

Gli orientamenti Nazionali sono essenzialmente basati su logiche di riorganizzazione territoriale basate sulla separazione dei ruoli di indirizzo e controllo da quelli di gestione.

L'abrogazione del decreto n. 135/2009 ha comportato il ripristino delle modalità gestionali definite dal precedente quadro di riferimento legislativo lasciando insolte le problematiche riguardanti l'efficientamento delle modalità gestionali nell'uso della risorsa.

Il riconoscimento da parte del legislatore di una tariffa sociale rappresenta il tentativo di far fronte all'impatto negativo rappresentato dal pagamento del costo pieno per quella parte di popolazione in condizioni economicamente disagiate.

Anche se si tratta di una soluzione condivisibile dal punto di vista della sostenibilità sociale non lo è altrettanto dal punto di vista economico in quanto la tariffazione così agevolata viene posta a carico della fiscalità generale.

L'accessibilità garantita a tariffe agevolate non riguarda solo gli usi civili ma anche altri usi. L'acqua viene cioè trattata alla stregua di bene pubblico pur avendo caratteristiche di bene comune cioè di bene per il quale valgono la non escludibilità (nessuno può essere escluso dall'uso del bene) e, a differenza del bene pubblico, la rivalità (il consumo di acqua da parte di un soggetto ne può ridurre la disponibilità per un altro soggetto).

Questa caratteristica implica la necessità di non poter affrontare la gestione dell'acqua con criteri non legati all'economia e all'efficienza. In caso di una gestione non efficiente e non economica tutti i potenziali fruitori della risorsa tenderebbero, al fine di massimizzare i propri benefici, a sfruttarla eccessivamente portando a un suo depauperamento e a una accentuazione delle conflittualità.

La garanzia fornita alla collettività in merito alla possibilità di aver sempre e comunque accesso all'acqua, anche nel caso di usi produttivi attraverso la garanzia di tariffe adeguate, riduce la possibilità di avere una gestione economicamente efficiente incentivando utilizzazioni non compatibili con la corretta conservazione della risorsa.

I modelli previsionali sono concordi nell'evidenziare una possibile accentuazione conflittuale nell'uso della risorsa qualora dovessero continuare in modo concomitante siccità, cambiamenti climatici e trend di crescita dei consumi.

Le dinamiche descritte impongono la revisione, nel tempo, delle politiche pubbliche sull'acqua. Numerosi sono stati gli interventi normativi succedutisi, tutti tesi a trovare un punto di equilibrio che ottemperasse sia alle necessità di salvaguardia sia a quelle di fruibilità diffusa della risorsa.

In particolare, la Direttiva Comunitaria 2000/60 è intervenuta in modo determinante sancendo l'applicabilità del principio del recupero dei costi relativi ai servizi idrici e prevedendo l'adozione di misure adeguate volte ad attribuire al prezzo dell'acqua il costo complessivo di tutti i servizi a essa connessi.

Nell'immaginare l'applicazione del costo pieno il legislatore ha introdotto il problema della gestione di una risorsa destinata a molteplici usi.

L'applicazione del costo pieno ha visto prevalere la logica basata sulla necessità di trattare l'acqua come risorsa strategicamente importante con caratteristiche di bene economico e come tale essere venduta, comprata e scambiata.

Il dettato legislativo ha di fatto prevalso sulle interpretazioni portate avanti a livello internazionale volte a testimoniare l'accesso all'acqua come diritto imprescindibile da garantire e come tale non suscettibile di privatizzazione.

L'adozione di provvedimenti legislativi riguardanti l'applicazione di tariffe sociali per l'uso della risorsa appare insufficiente a dare una risposta complessiva alle diverse istanze portate avanti sul piano sociale e rende improcrastinabile una revisione del quadro normativo a partire da una maggiore differenziazione nelle modalità di gestione della risorsa in funzione delle differenti destinazioni d'uso.

Occorre tenere maggiormente conto della multifunzionalità d'uso della risorsa e della conseguente necessità di disgiungere per quanto possibile la modalità di gestione a fini produttivi da quella per usi civili.

L'azione del World Water Forum è stata accompagnata nel tempo dalla prioritaria necessità di conciliare le diverse posizioni dando luogo per questo sempre a soluzioni frutto di compromessi al ribasso che molto spesso non hanno prodotto i frutti sperati in termini di applicabilità delle proposte portate avanti.

L'importanza del Forum appare soprattutto rappresentata dal fatto che l'acqua grazie alla periodica celebrazione del Forum stesso continua a restare al centro del dibattito politico portato avanti a livello internazionale.

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La tariffazione della risorsa destinata a usi produttivi e all'agricoltura in particolare necessita di essere rivista in funzione di un'applicazione del costo pieno coerente con il livello di efficienza dei servizi di fornitura e attento al tempo

stesso ad assicurare la sostenibilità nell'uso della risorsa secondo le sue diverse declinazioni.

Per arrivare a ciò appare evidente la necessità di incrementare la produttività economica della risorsa al fine di compensare l'eventuale aumento di tariffa determinato dall'applicazione del costo pieno.

L'applicazione di tariffe adeguate consentirebbe ai gestori di un servizio idrico integrato, in presenza di un quadro legislativo certo, di acquisire le risorse finanziarie per procedere alla realizzazione degli investimenti previsti nei vari documenti di programmazione predisposti ai diversi livelli.

La ricerca di soluzioni in grado di aumentare la produzione utilizzando meno acqua è diventata una priorità cruciale per il futuro. Se l'agricoltura deve continuare ad assicurare la copertura dei fabbisogni alimentari è tuttavia necessario che sia messa nelle condizioni migliori per farlo valorizzando i vantaggi di natura economica senza compromissioni di natura sociale e ambientale. In questo senso occorre sottolineare come l'uso efficiente della risorsa a fini agricoli migliora costantemente e anche le misure che favoriscono il risparmio idrico e offrono altri vantaggi, come la riduzione del fabbisogno energetico o altri benefici di natura ambientale, stanno fornendo risultati soddisfacenti. La ricerca sta, ad esempio, lavorando per aumentare la capacità di stoccaggio dell'acqua nei terreni utilizzati per scopi agricoli. La modernizzazione dei sistemi di irrigazione è aumentata e anche la produttività dell'acqua è notevolmente migliorata.

Al fine di far fronte alla frammentarietà del quadro legislativo e alle interconnessioni e sovrapposizioni delle politiche riguardanti i diversi usi della risorsa e all'inevitabile sovrapposizione delle competenze a livello territoriale appare necessaria un'azione più incisiva da parte dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente cui spetta il compito di assolvere alle funzioni riguardanti la regolazione e il controllo dei servizi idrici. Si ritiene infatti che le problematiche riguardanti l'uso della risorsa non siano solo di natura tecnica e/o economica ma anche di governance complessiva del sistema.

La recente approvazione del Metodo Tariffario Unico deliberato nel dicembre 2019 da parte dell'Autorità per il periodo 2020-2023 e applicato a chi, a qualunque titolo, gestisce il servizio idrico sul territorio nazionale, costituisce sicuramente un passo importante nella direzione dell'applicazione di tariffe capaci di tener conto delle specificità locali e delle decisioni degli Enti di Governo d'Ambito.

Resta sostanzialmente ineluso il tema sorto con l'emanazione del D.P.C.M. riguardante la copertura finanziaria della tariffa sociale del servizio idrico integrato.

La recente conferma da parte della Commissione Europea della validità dell'impianto della Direttiva Quadro sulle acque unitamente a quella che la stessa Direttiva non subirà alcun cambiamento, impone la necessità di arrivare anche in Italia alla definitiva messa a punto di modalità gestionali effettivamente in grado di riconoscere a tutti i servizi idrici il giusto prezzo in funzione della destinazione d'uso tenendo conto del loro costo economico reale.

#### RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare gli organizzatori della Giornata di studio "L'acqua da risorsa a calamità" per avermi invitato a svolgere questa relazione.

#### RIASSUNTO

L'acqua è la risorsa naturale più abbondante del pianeta Terra e la sua quantità può mantenersi costante nel tempo grazie ai processi di rigenerazione che la caratterizzano.

Le sue particolarità in termini di bene sono riconducibili al fatto che la risorsa viene utilizzata per il soddisfacimento di molteplici bisogni. Il suo utilizzo è indispensabile in tutti i processi produttivi che hanno come obiettivo la creazione di valore. La disponibilità di acqua a uso irriguo continua a essere per il settore agricolo un rilevante e irrinunciabile fattore di competitività. La sottovalutazione del bene non ha inciso positivamente sulla adeguatezza della risorsa in termini di disponibilità e non ne ha disincentivato l'uso in quantità superiori al tasso di rigenerazione. Le dinamiche innestatesi hanno imposto la revisione delle politiche pubbliche sull'acqua. La Direttiva Comunitaria 2000/60 è intervenuta in modo determinante sancendo l'applicabilità del principio del recupero dei costi relativi ai servizi idrici. Nell'immaginare l'applicazione del costo pieno il legislatore ha introdotto il problema della gestione di una risorsa destinata a molteplici usi. La recente conferma della validità dell'impianto della Direttiva impone la necessità di arrivare anche in Italia alla definitiva messa a punto di modalità gestionali effettivamente in grado di riconoscere a tutti i servizi idrici il giusto prezzo in funzione della destinazione d'uso tenendo conto del loro costo economico reale.

I futuri provvedimenti legislativi inerenti l'uso della risorsa dovranno pertanto muoversi nel solco tracciato dalla Direttiva anche al fine di tornare a un quadro normativo di riferimento più snello e meno sovrapposto.

Sotto questo punto di vista si ritiene che la scelta migliore al fine di evitare contraddizioni e sovrapposizioni sia quella di procedere a un aggiornamento attualizzato del Decreto Legislativo 152/2006 in funzione delle carenze riscontrate nel corso della sua applicazione senza dar luogo a provvedimenti legislativi non coerenti con le indicazioni Comunitarie.

## ABSTRACT

Water is the most abundant natural resource of the planet Earth and its quantity is constant over time. It is a resource of primary importance within the economic system. Its use is essential in all the productive processes determining creation of value. The availability of water for irrigation continues to be relevant for the agricultural sector and an essential factor of competitiveness. The undervaluation of the property has not had a positive effect on the adequacy of the resource in terms of availability and cannot get discouraged use that exceeds the rate of regeneration. The described trends were subjected to repeated regulatory intervention aimed at finding a balance that is deviating from the need to safeguard both the widespread availability of the resource. In particular, the EC Directive 2000/60 intervenes decisively in economic sanctioning the application, although not binding, the principle of cost recovery for water services in imagining the application of full cost, the legislator introduced the problem of managing a resource intended for multiple uses. The recent confirmation of the validity of the plant of the Directive imposes the need to arrive also in Italy at the definitive development of management methods actually able to recognize all water services the right price according to the intended use taking into account their real economic cost.

## BIBLIOGRAFIA

- ARERA (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente) (2019): *Delibera 580 del 27 dicembre 2019*, Roma.
- ARERA - Approvazione del metodo tariffario idrico per il terzo periodo regolatorio MTI-3
- BARTH F., FAWELL J. (2001): *The Water Framework Directive and European Water Policy*, «Ecotoxicology and Environmental Safety», 50, pp. 103-105.
- BOGGIA A., ROCCHI R. (2008): *Applicazione del "costo pieno" dell'acqua (Direttiva 2000/60/CE) in un'azienda dell'alto Tevere umbro*, a cura di L. Casini, V. Gallerani, D. Viaggi, Franco Angeli, Milano, pp. 11-29.
- BUTTERWORTH G., WARNER J., MORIARTY P. (2010): *Finding practical approaches to integrated water resources management*, «Water Alternatives», 3 (1), 2010.
- CAMERA DEI DEPUTATI (2018): *Disposizioni in materia di gestione pubblica e partecipativa del ciclo integrale delle acque*, Servizio Studi dipartimento ambiente, Camera dei deputati, Roma.
- EUROPEAN COMMISSION (2000): *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*, European Commission, Brussels.
- EUROPEAN COMMISSION (2019): *Fitness check of water framework directive and the floods directive*, European Commission, Brussels.
- FAO Aquastat (2020): *FAO's Global Information System on Water and Agriculture*, FAO, Rome. [www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use](http://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use)
- FAO (2015): *Towards a water and food secure future critical perspectives for policy makers*, FAO, Rome.
- IPCC (2008): *Climate change and water*, IPCC technical paper VI, IPCC Secretariat, Geneva.

- ISTAT (2020): *Rapporto SDGs 2020 Informazioni statistiche per l'agenda 2030 in Italia*, ISTAT, Roma.
- ISTAT (2019): *Le statistiche dell'Istat sull'acqua anni 2015-2018*, ISTAT, Roma.
- MIPAAF (2014): *Rapporto ambientale della valutazione Ambientale Strategica del Programma di sviluppo rurale nazionale (PSRN) per il periodo 2014-2020*, MIPAAF, Roma.
- MONACO F., SALI G. (2014): *L'acqua ad uso irriguo in un distretto risicolo: valutazione economica in differenti condizioni di pricing*, «Agriregionieuropa», anno 10, n. 36, marzo 2014.
- MOLLE F., MOLLINGA P. (2003): *Water poverty indicators: conceptual problems and policy issues*, «Water policy», 5 (5-6), pp. 529-544.
- OECD (2018): *Reforming water policies in agriculture*, OECD, Paris.
- SAVENIJE H.H.G. (2002): *Why water is not an ordinary economic good, or why the girl is special*, «Physics and Chemistry of the earth», 27, pp. 741-744.
- SIEBERT S., BURKE J., FAURES J., FRENKEN K. H., DOLL P., PORTMAN, F. (2010): *Groundwater use for irrigation a global inventory*, «Hydrology and Earth System Sciences», 14, pp. 1863-1880.
- STRZEPEK K., BOEHLERT B. (2010): *Competition for water for the food system*, «Philosophical Transactions Royal Society B», 365, pp. 2927-2940.
- THE EUROPEAN HOUSE AMBROSETTI (2020): *Libro bianco valore acqua per l'Italia*, The European House Ambrosetti, Milano.
- UNITED NATIONS - WATER (2012): *Managing water under uncertainty and risk*, United Nations Development report n. 4, UNESCO, Paris.
- VIAGGI D. (2013): *Analisi economica e disegno delle politiche per la gestione dell'acqua a uso irriguo: tra efficienza ed equità*, «I Georgofili. Atti della Accademia dei Georgofili», serie VIII, vol. 8, 2011, tomo II, pp. 336-357.
- WORLD WATER FORUM (2020): *Previous Forum editions*, World Water Forum.
- ZUCARO R., LUZZI CONTI S. (2013): *Integrazione tra la politica per le risorse idriche e quella per lo sviluppo rurale*, «Agriregionieuropa», anno 9, n. 35, dicembre 2013.

MASSIMO GARGANO<sup>1</sup>

## Un Piano quadro nazionale per il recupero delle acque

<sup>1</sup> Direttore ANBI Nazionale

La sicurezza territoriale è condizione indispensabile per la vita stessa di un Paese e ciò è tanto più vero per l'Italia che è una rinomata meta turistica, non solo per il suo patrimonio ineguagliabile di bellezze naturali e artistiche, ma anche per le produzioni agricole di grande e riconosciuto pregio e per l'eno-gastronomia a esse collegata (agriturismo; strade del vino; prodotti tipici doc, docg, igt; parchi; oasi naturali; ecc.); anche per questo, quindi, è strategico tutelare e valorizzare il territorio.

L'Italia è un Paese ricco d'acqua; si pensi che l'afflusso medio annuo, costituito dalle precipitazioni meteoriche, corrisponde a un'altezza media di precipitazioni di 1.000 mm, quantificabile in un volume annuo di circa 300 miliardi di metri cubi. Di questi però l'evaporazione ne restituisce quasi la metà all'atmosfera e si calcola che le risorse potenziali disponibili ogni anno siano di circa 110 miliardi di metri cubi, ma di esse solo una parte è utilizzabile (53 miliardi di m<sup>3</sup>) di cui 45 miliardi sono trattiene dal terreno e 8 miliardi vanno in mare.

Si ricorda che la Conferenza nazionale delle acque nel 1971 valutò che, per soddisfare le probabili esigenze, nell'anno 1980 si sarebbe dovuta raggiungere la capacità complessiva di invaso, all'epoca 7,7 miliardi di metri cubi, di almeno 17 miliardi di metri cubi, esigenze per altro oggi sicuramente aumentate, in ragione dei maggiori utilizzi idrici dovuti allo sviluppo economico degli ultimi 40 anni.

Arrivando ai nostri giorni si sottolinea come il Comitato Nazionale Italiano per le Grandi Dighe (ITCOLD) individua la capacità totale delle 534 grandi dighe (compresi i volumi determinati dagli sbarramenti regolatori dei 6 grandi laghi prealpini) in 13,7 miliardi di metri cubi, ma il volume autorizzato è di soli 11,9 miliardi (meno 1,8 miliardi), mentre dovevano essere 17

miliardi di m<sup>3</sup> già nel 1980. Risulta evidente l'urgente necessità di incrementare sensibilmente le capacità di invaso per sopperire alle esigenze idriche.

Il settore con i maggiori prelievi idrici è l'agricoltura, i cui volumi di norma in Italia risultano circa 20 miliardi di metri cubi all'anno (9,5 al nord, 4,6 al centro e 5,9 al sud) per irrigare un totale di 3,3 milioni di ettari.

Va però sottolineato che l'acqua usata in agricoltura non fuoriesce dal ciclo idrologico naturale e che l'effettivo prelievo dai corpi idrici superficiali risulta essere notevolmente maggiore, in quanto solo una parte dell'acqua prelevata viene effettivamente utilizzata dalle colture, mentre la rimanente viene restituita ai corpi idrici più a valle o va ad alimentare la falda sotterranea.

In molte aree del Paese le imprese agricole chiedono di poter disporre dell'irrigazione in modo da ottenere produzioni più competitive sui mercati. Peraltro, per numerose produzioni agricole, una volta coltivate in asciutta (cereali, leguminose, olivo, vite), a causa del ripetersi di stagioni siccitose associate ad alte temperature, risulta ora fondamentale poter disporre di acqua per tutto l'anno.

Vanno anche considerate le fragili aree di collina e bassa montagna dove la disponibilità di acqua consentirebbe di ridurre l'esodo delle imprese agricole e lo spopolamento dei territori della dorsale appenninica.

Risulta quindi fondamentale rendere disponibile la risorsa idrica attraverso la realizzazione di piccoli invasi collinari e l'ampliamento della superficie attrezzata con impianti irrigui.

Il conseguente aumento dei fabbisogni necessari per il settore irriguo è ampiamente dimostrato dagli andamenti meteorici degli ultimi anni, come si evidenzia dalle richieste per dichiarazione di stato di calamità, dai troppi invasi operanti in via sperimentale, dallo scarso riempimento per cause tecniche e/o climatiche di molte dighe, dalla presenza di sedimenti che limita le capacità di invaso, dall'innalzamento prematuro delle temperature, dalla necessità di irrigare colture che prima non ne avevano necessità (frumento, olivo, vite, ecc.).

Si ritiene necessario incrementare notevolmente (almeno 5 miliardi di metri cubi) le infrastrutture per la raccolta delle acque a uso plurimo (laminazione piene, civile, irriguo, idroelettrico, industriale, ecc.) in modo da contribuire alla riduzione del rischio idrogeologico; ripristinare le capacità di invaso dei bacini attualmente in esercizio, spesso compromesse da sedimenti o problemi statici; rendere funzionanti i bacini attualmente non in esercizio e portare a termine le opere incompiute; finanziare le progettazioni (quasi sempre eccessivamente onerose) e la realizzazione di quei bacini che già dispongono di progettazione esecutiva o definitiva, in particolare quelli polifunzionali, laghetti collinari o che utilizzano cave dismesse.

Le funzioni istituzionali dei Consorzi di bonifica sono proprio volte a evitare che il territorio sia minacciato dalla instabilità del suolo, dalle alluvioni, dalla siccità, dagli inquinamenti, dalla pressione antropica, dagli usi cui è destinato da piani regolatori, varianti di piano, ecc.

Viene ormai universalmente accettato che le azioni preventive di manutenzione svolte da tali enti non interessano esclusivamente il settore agricolo ma tutta la collettività che vive su quel territorio, cui è assicurato un ambiente idrogeologicamente più sicuro.

D'altronde una efficiente politica dell'ambiente, cioè del territorio, non può realizzarsi se non attraverso una sempre più necessaria collaborazione tra tutte le istituzioni che vi operano.

Ciò vale ancora di più in relazione all'accentuarsi della variabilità climatica, dove alla conformazione geologica del territorio si aggiunge l'impetuosa e disordinata urbanizzazione.

I danni da alluvioni e siccità che ormai si ripetono continuamente potrebbero essere evitati o almeno drasticamente ridotti investendo ogni anno in prevenzione (infrastrutture antisismiche, riduzione del consumo di suolo, aumento della capacità di invaso).

Risulta infatti possibile ridurre l'impatto degli eventi eccezionali attraverso azioni volte a rinforzare i territori fragili, a provvedere alle manutenzioni finalizzate a consentire lo scolo e garantire la regolazione idraulica, ad assicurare il funzionamento degli impianti idrovori e il consolidamento degli argini, ad aumentare la superficie servita da irrigazione collettiva.

Negli ultimi anni, si è poi aggiunta la quasi completa scomparsa delle "guardie ecologiche volontarie" rappresentate dalle aziende familiari e dai piccoli conduttori agricoli e ciò soprattutto nelle aree interne del Paese quali quelle più fragili della dorsale Appenninica.

L'ANBI e i Consorzi di bonifica e di irrigazione, per quanto riguarda le infrastrutture di loro competenza, hanno calcolato che attualmente vi sono 37 grandi infrastrutture incomplete, 55 bacini da realizzare, oltre a 3.650 interventi di manutenzione straordinaria del reticolo idraulico secondario. Si tratta nel complesso di investimenti per oltre 11 miliardi di euro che, attraverso una moderna infrastrutturazione del territorio, consentirebbero il rilancio della nostra economia e occupazione (circa 54.000 nuove unità lavorative).

Il Covid-19 ha precipitato il mondo, e il nostro Paese in particolare, nel mezzo di una crisi senza precedenti, si tratta della prima grande crisi dal 1979 (crisi petrolifera) che coinvolge sia la domanda sia l'offerta, contribuendo a un aumento dell'incertezza e a una difficile prevedibilità di alcuni fenomeni economici (investimenti, inflazione/deflazione, tenuta del Governo, ecc.).

L'Italia affronta questa sfida avendo alle spalle oltre un ventennio di stagnazione. Nel contesto continentale sarà tra i Paesi in condizioni peggiori. Rispetto al PIL del 2019 si prevede infatti una contrazione del 9,1%, anche se tale stima deriva da un quadro previsionale che prospetta contrazioni del PIL da -4% a -15%.

Il Governo italiano sembra stia finalmente riconoscendo l'importanza strategica del rilancio degli investimenti infrastrutturali nel nostro Paese, in particolare nel settore idrico. Il documento di economia e finanza infatti trattando del tema della infrastrutturazione del territorio movimenterebbe fino a € 200 miliardi per la realizzazione di opere infrastrutturali; tali investimenti sarebbero indirizzati, tra l'altro, alla gestione delle perdite idriche, al miglioramento del servizio di depurazione, all'adeguamento del sistema fognario, alla gestione delle interruzioni di servizio, al miglioramento della qualità dell'acqua, alla gestione della conformità alle normative, nonché ad altre voci di investimento.

L'ANBI ha quindi organizzato il 9 settembre scorso, presso la propria sede di Roma, una Conferenza stampa, trasmessa in livestreaming sul proprio canale youtube, sul tema "Resilienza ai cambiamenti climatici, transizione ecologica, recovery fund, green deal: la proposta concreta e immediata dei Consorzi di bonifica".

Con la partecipazione dei sottosegretari Mipaaf, Mit e Mattm, del presidente della Commissione agricoltura del Senato, del presidente e vicepresidente della analoga Commissione della Camera, del capodipartimento Casa Italia della PCM e del segretario generale dell'Autorità distrettuale Appennino Centrale, l'ANBI ha presentato i progetti definitivi ed esecutivi, per oltre 4 miliardi di euro, che i Consorzi associati hanno disponibili in materia.

#### RIASSUNTO

Il nostro, pur essendo un Paese ricco d'acqua, negli ultimi anni ha subito ricorrenti crisi idriche anche in aree dove di norma l'acqua era abbondante e disponibile nella stagione irrigua. I cambiamenti climatici, con l'aumento delle temperature e la concentrazione delle precipitazioni solo in alcuni periodi dell'anno, hanno reso necessario irrigare anche colture che prima non ne avevano bisogno. Occorre quindi realizzare infrastrutture per aumentare le disponibilità idriche.

#### ABSTRACT

Italy, despite being a country rich in water, in recent years has suffered recurrent water crisis even in areas where water was usually abundant and available in the irrigation se-

ason. Climate changes, with increasing temperatures and concentration of rainfall only in certain times of the year, have made it necessary to irrigate crops that previously did not need irrigation. It is therefore imperative to build infrastructures to increase water availability.

STEFANIA NUVOLI<sup>1</sup>

## Il riuso delle acque reflue in agricoltura: aspetti tecnico-normativi

<sup>1</sup> Direzione Agricoltura e Sviluppo Rurale Regione Toscana

### OPPORTUNITÀ E VINCOLI DEL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE PER L'IRRIGAZIONE

Il riuso delle acque reflue in agricoltura si associa a molteplici benefici ambientali, economici e sociali, ma allo stesso tempo pone una serie di vincoli per poter garantire una sicura compatibilità con la salute umana, la salubrità dei prodotti, la tutela dell'ambiente e lo svolgimento dell'attività agricola. La necessità di fissare specifiche regole di qualità e di gestione delle acque reflue e di attuare adeguati modelli organizzativi a supporto della distribuzione irrigua rende il riutilizzo una pratica che richiede il coordinamento tra diversi soggetti e incrementa i costi dell'irrigazione con le acque reflue rispetto al prelievo diretto dai corpi idrici.

In generale il riutilizzo delle acque reflue permette di limitare il prelievo dai corpi idrici, soprattutto da quelli sotterranei, riducendo la pressione antropica sugli ecosistemi, e di mitigare i conflitti sull'utilizzo della risorsa idrica, consentendo di destinare una maggiore quantità di risorsa primaria a fini potabili. Nelle zone costiere questa pratica può contribuire a contrastare il fenomeno dell'intrusione del cuneo salino nelle falde e, nel lungo periodo, la progressiva desertificazione dovuta all'impiego di acque caratterizzate da una elevata salinità.

Il riuso a scopo irriguo rende disponibile una risorsa idrica integrativa che, non essendo condizionata dall'andamento meteo-climatico ma prevalentemente dai flussi stagionali della popolazione (es. quelli turistici in estate), può garantire l'approvvigionamento di acqua per il comparto agricolo anche in situazioni di siccità. Il riutilizzo in agricoltura può favorire anche il miglioramento della qualità dei corpi idrici: i nutrienti (principalmente azoto, fosforo)

OPPORTUNITÀ	VINCOLI	RISCHI
Risorsa idrica integrativa pronta per essere immessa nelle reti	Disponibilità di una rete di distribuzione	Contaminazione ambientale
Tutela quantitativa dei corpi idrici: riduzione dei prelievi e della pressione sulle falde	Standard di qualità per la salvaguardia della salute umana	Contaminazione microbiologica delle produzioni da agenti patogeni
Tutela qualitativa dei corpi idrici: riduzione del carico inquinante e attenuazione dell'intrusione del cuneo salino	Standard di qualità per la tutela dell'ambiente e la compatibilità agronomica	Possibili danni alle colture Incremento della salinità nei suoli
Definizione di parametri di qualità per le acque usate per l'irrigazione	Trattamenti fisico-chimici e microbiologici per garantire idonei parametri di qualità	Eccessivo incremento per il settore agricolo dei costi dell'acqua a uso irriguo
Monitoraggio della qualità delle acque usate per l'irrigazione	Controlli e monitoraggi all'uscita dell'impianto di recupero	Sospensione dell'erogazione per scarsa qualità delle acque
Apporto di nutrienti per le colture e minore impiego di fertilizzanti minerali	Verifica del contenuto in azoto e fosforo e controllo della fertilizzazione azotata e fosforica	Potenziale lisciviazione di azoto nell'ambiente
Possibilità di ridurre i trattamenti di affinamento delle acque reflue per azoto e fosforo	Attenta gestione degli impianti irrigui	Eutrofizzazione in caso di invaso e occlusione dei sistemi di erogazione
Maggiore disponibilità di risorsa in estate nelle aree costiere	Necessità di una programmazione territoriale degli approvvigionamenti	Discontinuità di approvvigionamento.

Tab. 1 *Opportunità, vincoli e rischi connessi al riutilizzo delle acque reflue depurate per l'irrigazione*

contenuti nelle acque reflue destinate al riuso non vengono immessi nei corpi idrici recettori e possono contribuire alla fertilizzazione delle colture, permettendo una riduzione delle quantità di fertilizzanti minerali distribuite, se opportunamente valorizzati all'interno dei piani di concimazione.

Tra i principali vincoli del riuso è opportuno evidenziare la necessità di trattamenti di depurazione integrativi e di adeguati sistemi di monitoraggio e controllo, che rendono i costi delle acque reflue per l'irrigazione più elevati rispetto a quelli delle acque prelevate dall'ambiente. Pertanto, in mancanza di incentivi finanziari e di meccanismi di recupero dei costi tali da contenere il prezzo dell'acqua reflua rispetto a quello dell'acqua prelevata dall'ambiente, l'opzione del riuso ha avuto una limitata diffusione, almeno in Italia.

La fattibilità del riutilizzo presuppone inoltre la presenza di adeguate infrastrutture per la distribuzione irrigua, nonché l'individuazione di modalità di gestione dell'irrigazione e di manutenzione degli impianti, opportunamente definite in relazione alle caratteristiche di composizione delle acque, alle specie irrigate, ai terreni interessati e alle tecniche di irrigazione, al fine di evitare danni alle colture, problemi ai suoli, anomalie di funzionamento degli impianti.

Si tenga conto che il controllo previsto per la verifica della qualità delle acque reflue non trova riscontro nell'impiego ordinario per l'irrigazione delle acque prelevate dall'ambiente, per le quali non esiste una normativa di riferimento che fissa analoghi valori limite da rispettare.

Nella tabella 1 sono riepilogati le opportunità, i vincoli e i rischi associati al riuso irriguo di acque reflue.

#### ESPERIENZE DI RIUSO IRRIGUO IN TOSCANA

L'ipotesi di utilizzare le acque reflue come fonte integrativa per l'irrigazione prende forma in Toscana già negli anni '90, prima ancora di una chiara definizione delle norme di qualità, con alcune iniziative sperimentali attraverso le quali sono stati studiati a livello locale alcuni aspetti applicativi dell'impiego dei reflui a scopi irrigui. In particolare le sperimentazioni condotte dalla Regione Toscana a Marina di Grosseto e a Castiglione della Pescaia, su colture ortive di pieno campo, hanno consentito di indagare sui risultati produttivi e sul livello di contaminazione microbiologica delle colture ottenute attraverso l'impiego di acque reflue per l'irrigazione, attraverso una valutazione comparativa delle rese e della carica di microrganismi presente sulle produzioni (pomodoro da industria e melanzana), rispetto alle stesse tipologie di prodotto reperite presso l'industria di trasformazione o la GDO (Bertolacci et al., 2006; Nuvoli, 2006). Inoltre attraverso un impianto pilota è stata testata la possibilità di riutilizzo in campo fito-vivaistico delle acque reflue urbane trattate in uscita dall'impianto di Pistoia (Ferrini e Nicese, 2004).

Agli inizi degli anni 2000, nell'ambito degli approfondimenti eseguiti ai fini del Piano di Tutela delle Acque della Regione Toscana, è stata eseguita una "Indagine sulla potenzialità di utilizzo irriguo delle acque reflue depurate sul territorio toscano", per valutare le possibilità di impiego a fini irrigui dei reflui depurati. In relazione all'ubicazione e all'estensione delle aree irrigue e all'eventuale presenza di reti di distribuzione, lo studio ha individuato 13 impianti più suscettibili al riuso a scopo agricolo, due terzi dei quali localizzati nella fascia litoranea della Toscana, tra le province di Grosseto, Livorno e Lucca.

Nel periodo 2004-2006 sono stati siglati tra il Ministero dell'Ambiente, la Regione Toscana ed enti locali alcuni Accordi di Programma per la tutela delle risorse idriche, che prevedevano anche interventi per il riuso delle acque reflue per l'irrigazione: in particolare l'impiego dei reflui del distretto tessile di Prato per il sistema vivaistico pistoiese e l'impiego degli effluenti del depuratore di

PARAMETRO	UNITÀ DI MISURA	VALORI LIMITE D.M. 185/03	VALORE LIMITE IN DEROGA AL D.M. 185/03	NECESSITÀ DEL PARERE DEL MATTM
Conducibilità elettrica	µS /cm	3000	3500	*
Cloruri	mg Cl/l	250	1200	*
pH		6-9,5		*
Alluminio	mg/l	1		*
Ferro	mg/l	2		*
Manganese	mg/l	0,2		*
Solfati	mg/l	500		*
Azoto ammoniacale	mg NH <sub>4</sub> /l	2	15	*
Azoto totale	mg N /l	15	35	
Fosforo totale	mg P/l	2	10	

Tab. 2 *Requisiti minimi di qualità delle acque reflue derogabili - Allegato 1 D.M. 185/2003*

Viareggio e di altri impianti della Versilia, a favore del comparto orto-floro-vivaistico. Tuttavia nessuno degli interventi di riuso a scopi irrigui ipotizzato è stato attuato per una serie di difficoltà, quali la mancanza di adeguate strutture per la distribuzione irrigua, i costi per la realizzazione degli impianti di affinamento, la disparità fra i costi della risorsa idrica proveniente dal riutilizzo e quella prelevata dalla falda. Pertanto in Toscana fino al momento i principali investimenti per il riuso sono stati realizzati per il comparto industriale.

#### ASPETTI NORMATIVI DEL D.M. 185/2003 PER IL RIUTILIZZO IRRIGUO DELLE ACQUE REFLUE

Il D.M.185/2003 disciplina a livello nazionale le modalità di riutilizzo e i requisiti minimi di qualità che devono rispettare le acque reflue all'uscita dell'impianto di recupero per l'impiego irriguo.

In particolare, per evitare rischi igienico-sanitari, indipendentemente dalla tipologia della coltura alla quale destinare le acque reflue, sono stati fissati per i parametri microbiologici valori limite assai rigorosi (*Escherichia coli* < 10 UFC/100mL e assenza di *Salmonella*). Per conseguire tali livelli le acque reflue depurate devono essere necessariamente soggette a un trattamento terziario integrativo (di filtrazione e disinfezione) rispetto a quelli ordinariamente eseguiti ai fini dello scarico delle acque depurate nei corpi idrici superficiali, ai sensi del Dlgs 152/2006.

Allo stesso tempo sono stati fissati specifici valori limite di riferimento per le principali caratteristiche fisico-chimiche, per garantire la piena compatibilità con la sicurezza ambientale.

Per taluni parametri (vedi tab. 2) le Regioni possono autorizzare per specifiche destinazioni d'uso limiti diversi da quelli di cui alla tabella del D.M. 185/2003. I limiti per fosforo e azoto totale possono essere elevati rispettivamente a 10 e 35 mg/l; per gli altri parametri la deroga ai limiti previsti può avvenire, previo parere del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, purché questi limiti non risultino superiori ai valori ammessi per lo scarico in acque superficiali, di cui al Dlgs 152/2006. Per la conducibilità elettrica non deve essere superato il valore di 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Inoltre alle Regioni è permesso di adottare, nel rispetto delle norme tecniche nazionali, ulteriori misure volte a favorire il riciclo e il riutilizzo delle acque reflue depurate soprattutto con riferimento alle aree sensibili, per far fronte a situazioni permanenti di scarsità della risorsa idrica.

Si evidenzia che da un punto di vista normativo, il riutilizzo deve essere consentito nell'ambito dell'autorizzazione allo scarico rilasciata dagli organi competenti. Tale autorizzazione deve anche contenere le prescrizioni atte a garantire che l'impianto osservi nel tempo i valori limite fissati, compreso quelli per i quali è stata concessa la deroga.

Per quanto riguarda gli aspetti agronomici connessi all'impiego irriguo è opportuno evidenziare che il D.M. 185/2013 (Art.10) stabilisce che:

- «Il riutilizzo irriguo di acque reflue recuperate deve essere realizzato con modalità che assicurino il risparmio idrico e non può comunque superare il fabbisogno delle colture e delle aree verdi, anche in relazione al metodo di distribuzione impiegato».
- «Gli apporti di azoto derivanti dal riutilizzo di acque reflue concorrono al raggiungimento dei carichi massimi ammissibili, ove stabiliti dalla vigente normativa nazionale e regionale, e alla determinazione dell'equilibrio tra il fabbisogno di azoto delle colture e l'apporto di azoto proveniente dal terreno e dalla fertilizzazione».

Di conseguenza la gestione agronomica delle acque reflue per l'irrigazione deve prevedere:

- la valutazione del fabbisogno irriguo delle colture sulla base di un bilancio idrico, anche con l'ausilio di sistemi di supporto decisionale, affinché i volumi distribuiti siano commisurati alle effettive esigenze delle colture irrigue;
- la valutazione della quantità di nutrienti contenuta nelle acque di irrigazione complessivamente distribuite, e in particolare dell'azoto, nell'ambito di piani di concimazione costruiti secondo l'equazione di bilancio tra apporti e fabbisogno di azoto, in linea con quanto previsto dal Programma di azione, obbligatorio per le aziende agricole comprese nelle ZVN.

IL PROGETTO DI RIUSO DELLE ACQUE REFLUE  
PER L'IRRIGAZIONE IN VAL DI CORNIA

Dal 2000 ad oggi nelle aree costiere della Toscana si è andata fortemente accentuando la situazione di carenza idrica, che già da tempo affligge talune zone irrigue. In particolare in alcune annate (2003, 2012, 2017) si sono verificate nel periodo estivo condizioni di elevate temperature e protratti periodi di siccità tali da determinare una scarsità negli approvvigionamenti idrici, che hanno causato in molti casi rilevanti danni alle produzioni agricole.

Nel 2017, in occasione di una di queste situazioni di siccità, con il “Primo stralcio del Piano straordinario di emergenza per la gestione della crisi idrica” (DPGR n.88/2017), in urgenza è stata finanziata dalla Regione Toscana la realizzazione in Val di Cornia di un intervento per alimentare con le acque depurate provenienti dal depuratore di Guardamare (San Vincenzo), preventivamente sottoposte a un ulteriore processo di disinfezione, l'impianto irriguo della Fossa Calda (Campiglia M.ma), gestito dal Consorzio di Bonifica Toscana Costa, che serve un'ampia superficie destinata alla coltivazione del pomodoro da industria. L'intervento ha consentito la parziale riconversione di un esistente acquedotto realizzato per il riuso industriale, destinato al trasporto delle acque reflue depurate di alcuni depuratori della zona (S. Vincenzo, Venturina, Piombino), e il collegamento della condotta esistente con l'invaso (Lago del Molino) che alimenta l'impianto della Fossa Calda. Il controllo della qualità delle acque destinate all'irrigazione, oltre che dalle analisi eseguite dal gestore del Servizio Idrico (ASA S.p.A.), è stato assicurato attraverso le attività di monitoraggio attuate dagli enti competenti in materia di sanità e tutela ambientale (ASL e ARPAT). A sua volta il Consorzio, in collaborazione con ASA S.p.A., ha esercitato un'azione di coordinamento e di informazione nei confronti dell'utenza agricola.

La realizzazione di questo progetto di riuso, sebbene attivato in emergenza, ha permesso di contenere nell'estate del 2017 i danni derivanti dalla grave crisi idrica locale, rendendo possibile il completamento dell'irrigazione del pomodoro di industria, a fronte della drastica riduzione delle portate della sorgente Fossa Calda, che approvvigiona l'impianto irriguo consortile. Allo stesso tempo l'esperienza ha consentito di sperimentare una strategia di trattamento e di gestione delle acque reflue per l'irrigazione idonea al rispetto dei limiti qualitativi previsti dalla normativa vigente in materia di riuso e ha incoraggiato la ricerca di soluzioni tecnologiche tali da poter rendere strutturale il riutilizzo delle acque dal depuratore di Guardamare.

A tal fine è stato attivato, attraverso un Protocollo di Intesa, un coordina-

mento istituzionale tra tutti i soggetti interessati (Regione, Comuni, Consorzio di Bonifica e il gestore del Servizio Idrico integrato) per la trasformazione del progetto attuato in emergenza in un intervento definitivo, per la produzione di acque reflue per uso irriguo, ai sensi del D.M. 185/2003.

Nel 2018 è stato finanziato dalla Regione Toscana un nuovo intervento, con il quale è stata realizzata presso il depuratore di Guardamare l'installazione di uno specifico sistema di filtrazione e di disinfezione per il trattamento delle acque depurate destinate al riuso irriguo, che prevede l'impiego di acido peracetico e lampade UV, nonché il perfezionamento dei collegamenti idraulici, per consentire l'afflusso delle acque affinate nel Lago del Molino, dove queste si miscelano con le acque provenienti dalla Fossa Calda, prima dell'alimentazione dell'impianto irriguo consortile.

A seguito della realizzazione del nuovo sistema di trattamento, entrato in funzione nell'estate 2019, è stata avviata una fase di sperimentazione, durante la quale è stato condotto un monitoraggio sui parametri microbiologici e fisico-chimici, non solo sulle acque reflue depurate in uscita dal depuratore (come previsto dal D.M. 185/2003), ma anche sulle acque prelevate dal Lago del Molino, dopo la miscelazione, e all'uscita degli impianti aziendali, per verificare la qualità dell'acqua per l'irrigazione fino al punto di erogazione alle colture.

#### ASPETTI AUTORIZZATIVI CONNESSI ALLA GESTIONE AGRONOMICA DEL RIUSO DELLE ACQUE REFLUE

Al termine della fase di sperimentazione e di collaudo del progetto di riuso delle acque reflue depurate provenienti dal depuratore Guardamare nel distretto irriguo della Fossa Calda, il gestore del Servizio Idrico Integrato ha trasmesso gli esiti dei test condotti, richiedendo l'aggiornamento dell'atto autorizzativo definitivo relativo al trattamento terziario per il riutilizzo a scopo irriguo. Il gestore ha evidenziato che in alcuni momenti i valori di conducibilità sono stati superiori ai 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e, soprattutto nel periodo estivo, la concentrazione dei cloruri ha oltrepassato i 500 mg/l, con punte fino a 700mg/l; così pure sono stati rilevati sporadici superamenti rispetto al limite massimo per i valori di azoto, fosforo e azoto ammoniacale. A questo proposito il gestore del SII ha sottolineato come la salinità delle acque reflue in uscita da Guardamare sia da collegare alla concentrazione di cloruri presente nelle acque di falda immesse nella rete acquedottistica, che presentano valori di conducibilità e di cloruri di norma piuttosto elevati.

PARAMETRO	UNITÀ DI MISURA	VALORI LIMITE D.M. 185/03	VALORE LIMITE IN DEROGA AL D.M. 185/03
Conducibilità elettrica	$\mu\text{S/cm}$	3000	3500
Cloruri	mg Cl/l	250	800
Azoto totale	mg N/l	15	35
Fosforo totale	mg P/l	2	10
Azoto ammoniacale	mg $\text{NH}_4$ /l	2	15

Tab. 3 *Valori limite richiesti in deroga al D.M. 185/2003*

Pertanto il gestore ha richiesto che l'autorizzazione consenta per i parametri di cui alla tabella 3 la deroga rispetto ai valori limite riportati nell'Allegato 1 del D.M. 185/2003, come previsto dallo stesso Decreto, previo parere conforme del Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio, laddove necessario.

Nell'ambito della Conferenza dei Servizi convocata per esaminare gli esiti della sperimentazione ai fini della modifica dell'autorizzazione allo scarico, a cui hanno partecipato i diversi soggetti competenti in materia ambientale e sanitaria, è stata eseguita anche una valutazione circa l'idoneità agronomica delle acque reflue destinate all'irrigazione, e in particolare sui valori relativi alle deroghe richieste. È stato considerato in primo luogo che le acque reflue affinate in uscita del depuratore si miscelano nel Lago del Molino con le acque provenienti dalla Fossa Calda, in misura variabile a seconda del livello di disponibilità della risorsa primaria e dei reflui depurati. Pertanto, anche se i valori massimi di conducibilità e soprattutto di cloruri individuati nelle acque reflue all'uscita del depuratore risultano subottimali per gran parte delle colture irrigue, il rischio di danni alle produzioni agricole può essere efficacemente contenuto per effetto della diluizione operata dalle acque della sorgente che alimentano ordinariamente il lago, che presentano valori di conducibilità e di cloruri notevolmente inferiori a quelli delle acque reflue.

Inoltre la valutazione sull'impiego per l'irrigazione delle acque reflue depurate non ha potuto prescindere dalla considerazione di due aspetti rilevanti:

- la situazione di crisi idrica del territorio e la necessità di fonti integrative di approvvigionamento per salvaguardare le produzioni agricole;
- la salinità delle acque sotterranee che ordinariamente nella zona sono utilizzate per l'irrigazione.

Tuttavia, proprio in relazione alle specifiche caratteristiche delle acque reflue, il parere favorevole all'utilizzo irriguo delle acque reflue, oltre a prevedere l'immediata sospensione dell'erogazione di acqua dal depuratore in caso di superamento dei limiti previsti, contiene anche una serie di prescrizioni per limitare eventuali effetti negativi sia per le colture che per i suoli. In primo

luogo si individua la necessità di prevedere durante la stagione irrigua il monitoraggio dei parametri conducibilità elettrica e cloruri, nonché del SAR (Sodium Adsorption Ratio), anche per le acque del Lago del Molino che vengono immesse nella rete di distribuzione, al fine di verificare che i volumi dei reflui in arrivo dall'impianto di Guardamare siano sottoposti a una sufficiente miscelazione tale da garantire caratteristiche qualitative compatibili con le esigenze delle colture irrigue in campo. Inoltre, a fronte dell'utilizzo continuativo di acque caratterizzate da elevata salinità, è stato consigliato di verificare periodicamente il livello di salinità dei suoli, al fine di evidenziare eventuali fenomeni di accumulo.

Per quanto riguarda azoto, fosforo e azoto ammoniacale è stata ritenuta ammissibile una deroga fino ai valori massimi richiesti, consentiti dal D.M.185/2003 (previo parere del Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio per l'azoto ammoniacale), in quanto tali elementi sono nutrienti dei vegetali e quindi la loro somministrazione contribuisce alla fertilizzazione delle colture agrarie.

In relazione al contenuto di nutrienti delle acque reflue depurate è stato ritenuto opportuno prevedere, laddove vi sia l'impiego di significativi volumi di acque reflue per l'irrigazione, che nel corso della stagione irrigua sia determinata la concentrazione dell'azoto nelle acque irrigue e ne sia data opportuna informazione alle aziende, al fine di poter calcolare, nell'ambito dei piani di concimazione, l'azoto apportato con l'irrigazione. Tale disposizione è obbligatoria per le aziende ricomprese in Zone Vulnerabili da Nitrati.

#### IL REG 2020/741 E IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO

Il 25 maggio 2020 il Parlamento europeo e il Consiglio hanno adottato il Regolamento (UE) 2020/741 sul riutilizzo delle acque reflue in agricoltura, che troverà applicazione a decorrere dal 26 giugno 2023, con lo scopo di creare un quadro comune di regole per favorire la diffusione del riutilizzo delle acque reflue in agricoltura.

Il Regolamento stabilisce i parametri minimi di qualità dell'acqua che devono essere rispettati, differenziando gli obiettivi di qualità in relazione alla categoria di coltura (per consumo fresco o trasformazione) e alla tecnica di irrigazione. Inoltre il Regolamento prevede che nell'autorizzazione rilasciata per il riutilizzo possano essere stabilite dalle autorità competenti eventuali condizioni supplementari necessarie per evitare rischi per l'ambiente e per la salute. Il rilascio dell'autorizzazione per la produzione e l'erogazione di

acque trattate deve essere basato sulla valutazione di un piano di gestione dei rischi, da cui possono discendere misure e obblighi supplementari non solo per il gestore degli impianti di affinamento, ma anche per gli altri soggetti interessati, compreso gli utilizzatori finali. Tale piano permette di individuare ulteriori barriere nel sistema di riutilizzo dell'acqua e adeguate prescrizioni per garantire la sicurezza dell'intero sistema di riutilizzo dell'acqua, comprese le condizioni relative alla distribuzione, allo stoccaggio e all'utilizzo, individuando le parti responsabili della loro attuazione.

Le prescrizioni e le indicazioni espresse in merito alla compatibilità agronomica, ai fini del rilascio dell'autorizzazione ambientale per il riuso irriguo delle acque del depuratore di Guardamare, forniscono già importanti elementi di valutazione in linea con i contenuti del piano di gestione del rischio, che dovrà essere predisposto in attuazione del nuovo Regolamento sul riuso.

#### CONCLUSIONI

La crescente pressione antropica e le conseguenze dei cambiamenti climatici stanno incidendo in misura significativa sulla disponibilità di riserve di acqua dolce. Tra le priorità dei prossimi anni vi è dunque quella di individuare soluzioni in grado di tutelare e integrare le fonti di approvvigionamento idrico, in modo da ridurre la vulnerabilità dell'ambiente e dei sistemi produttivi, in particolare di quello agricolo, particolarmente esposto ai danni derivanti da anomale condizioni climatiche.

Il riuso delle acque reflue depurate rappresenta una strategia che può contribuire ad attenuare situazioni di forte criticità, coerente anche con i principi dell'economia circolare. Fino ad ora questioni di carattere tecnologico e normativo hanno ostacolato la diffusione di questa pratica, ma la messa a punto di adeguate tecnologie di depurazione nonché l'approvazione di una disciplina europea per il riuso potranno favorire il riutilizzo delle acque reflue in agricoltura. Nei tre anni che ci separano dall'entrata in vigore del Regolamento, è opportuno che l'Italia possa consolidare esperienze operative nel riuso e compiere una revisione della normativa nazionale, allineando il D.M. 185/2003 all'impostazione data dal Regolamento 2020/741. Con l'attuazione del nuovo Regolamento infatti, oltre agli obblighi connessi al rilascio dell'autorizzazione per il riuso e alla verifica del loro rispetto fino all'uscita dei reflui dal depuratore, dovrà essere rivolta particolare attenzione alla gestione dei rischi dell'intero sistema coinvolto nel riuso e agli aspetti riguardanti l'informazione verso tutti gli attori coinvolti, compreso gli operatori del mondo

agricolo e i consumatori. Infatti un ulteriore ostacolo alla diffusione del riuso in agricoltura è stato individuato nella scarsa conoscenza da parte dell'opinione pubblica della criticità degli approvvigionamenti idrici e del sistema di controlli che necessariamente deve essere adottato in caso di riuso, con il quale poter garantire la salubrità dei prodotti agricoli e la tutela dell'ambiente, nonché la sicurezza degli operatori.

Il Regolamento UE non individua i soggetti che devono sostenere il costo del riuso, mentre la vigente normativa nazionale pone i costi del trattamento delle acque a carico degli utenti del SII e i costi della distribuzione delle acque depurate a carico dell'utilizzatore finale (Consorzi di bonifica e agricoltori). Pertanto, per consentire la diffusione del riuso dei reflui in agricoltura, è opportuno che, oltre al superamento delle barriere di carattere tecnologico, normativo e informativo, siano individuati criteri di ripartizione dei costi e modalità di incentivazione tali che il costo dell'acqua riciclata non rappresenti un ostacolo alla diffusione del riuso a scopi irrigui, sebbene sia stato evidenziato come questo risulti più alto rispetto a quello dell'acqua prelevata dall'ambiente, a causa degli elevati standard di qualità richiesti.

#### RIASSUNTO

Il riutilizzo delle acque reflue è stato individuato dalla Commissione Europea come una strategia da promuovere nell'UE per affrontare la scarsità d'acqua e diminuire la pressione sulle fonti di approvvigionamento idrico. Questa opportunità è stata evidenziata anche nel contesto del Piano d'azione dell'UE per un'economia circolare (COM [2015] 614 final). Il riuso delle acque reflue per l'irrigazione, attraverso il recupero dei nutrienti, può ridurre l'uso di fertilizzanti minerali e il carico inquinante nelle acque superficiali.

Tuttavia, al riutilizzo dell'acqua per l'irrigazione sono associati alcuni rischi, che devono essere valutati per garantire la salute pubblica, la tutela ambientale e l'idoneità agronomica: pertanto gli obiettivi di qualità devono essere definiti in specifiche norme.

Il 25 maggio 2020 il Parlamento europeo e il Consiglio hanno adottato il Regolamento (UE) 2020/741 sul riutilizzo delle acque reflue in agricoltura, per l'uso sicuro delle acque depurate nel contesto della gestione integrata delle acque, che stabilisce i requisiti minimi per la qualità dell'acqua e le disposizioni sulla gestione del rischio.

Già nel 2003 l'Italia ha adottato un Regolamento che definisce le norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue (D.M. n. 185 del 12/06/2003), ma i parametri molto restrittivi previsti e i costi elevati per i trattamenti richiesti hanno limitato la diffusione del riuso nel settore irriguo.

A seguito dei cambiamenti climatici, negli ultimi anni in Italia sono stati attuati alcuni progetti di riuso, per testare a scala locale soluzioni tecnologicamente avanzate e contenere i costi dei trattamenti necessari per ottenere i requisiti qualitativi stabiliti dalla normativa nazionale. Un progetto di riutilizzo delle acque reflue in agricoltura è stato realizzato anche in Toscana (Val di Cornia), per affrontare gli aspetti sanitari, am-

bientali, economici e agronomici. L'esperienza ha permesso di sviluppare un modello di gestione di riutilizzo per l'irrigazione di colture orticole, conforme al decreto ministeriale 185/2003 e già in linea con il regolamento UE sul riuso recentemente approvato.

#### ABSTRACT

Wastewater reuse has been identified by the European Commission as a relevant strategy to be further promoted in the EU to address water scarcity and decrease the pressure on freshwater sources.

This opportunity was highlighted also in the context of the Circular Economy Action Plan (COM [2015] 614 final). Water reuse for agricultural irrigation can reduce use of mineral fertilizer and surface water pollution, by recovering nutrients from the reclaimed water.

However, there are risks associated with water reuse in agricultural irrigation that must be assessed to meet the public health, environmental protection and agronomic suitability requirements and the water quality objectives need to be clearly defined in specific rules.

On 25 May 2020, the European Parliament and the Council adopted Regulation (EU) 2020/741 on the reuse of wastewater in agriculture for the safe use of reclaimed water in the context of integrated water management. The regulation establishes the minimum requirements for water quality and the provisions on risk management.

As early as 2003, Italy has adopted a Regulation to control the quality of reclaimed water (D.M. n. 185 of 12/06/2003), but very restrictive parameters and high costs for the required treatments have limited the wastewater reuse in agricultural irrigation.

In the last years climate change have been contributing significantly to the implementation in Italy of some reuse projects aimed at testing on a local scale advanced technological solutions and reducing treatment costs to obtain the quality requirements set by the national rules.

A project about wastewater reuse for agricultural irrigation was implemented also in Tuscany (Val di Cornia), with an integrated planning approach, considering health, environmental, economic and agronomic issues. The experiment enabled to develop a reuse model for the vegetable crops irrigation compliant with Ministerial Decree 185/2003 and already in line with the new Water Reuse Regulation.

#### BIBLIOGRAFIA

- BERTOLACCI M., MEGALE P.G., NUTINI F., NUVOLI S. (2006): *L'impiego irriguo delle acque reflue urbane depurate. A) Risultati di un triennio di prove sperimentali su pomodoro da industria*, in *Risultati delle attività dei Centri dimostrativi per l'irrigazione*, «Quaderno ARSIA», 3/2006, a cura di S. Nuvoli, Firenze, pp. 91-110.
- FERRINI F., NICESE F. P. (2004): *L'impiego delle acque reflue nel vivaismo ornamentale in Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua*, «Quaderno ARSIA», 5/2004, a cura di A. Pardossi, L. Incrocci, P. Marzialetti, Firenze, pp. 215-222.
- NUVOLI S. (2006): *L'impiego irriguo delle acque reflue urbane depurate. B) Valutazioni*

*sperimentali relative all'utilizzo di acque reflue depurate su melanzana coltivata in pieno campo*, in *Risultati delle attività dei Centri dimostrativi per l'irrigazione*, «Quaderno ARSIA», 3/2006, a cura di S. Nuvoli, Firenze pp. 111-120.

SIMONE FAGIOLI<sup>1</sup>

## Introduzione al volume: L'ingegner Celso Capacci e l'acqua potabile a Firenze tra Ottocento e Novecento

<sup>1</sup> Ricercatore, Curatore del Fondo Celso Capacci

Se si osserva la storia delle infrastrutture in un periodo piuttosto ampio, che in Italia si può collocare tra Restaurazione e Prima guerra mondiale, si verifica come una linea generale di azione sia legata all'ottimizzazione delle risorse, a un miglioramento costante delle infrastrutture, anche se non sempre questo si attua al meglio e soprattutto rapidamente, con uno sviluppo tecnico-scientifico che indirizza la crescita.

In questo quadro, nell'ambito della ricerca storica in senso ampio, nascita e sviluppo ad esempio della rete ferroviaria, prima nei singoli Stati, poi a livello unitario, sono ben indagati, un tema rilevante come quello della distribuzione dell'acqua potabile è meno approfondito, in un intreccio di aspetti che non è certo secondario a quelli di altre reti.

Un nodo non marginale è quello sanitario, nella consapevolezza sempre crescente che un'acqua pura sia un valido deterrente allo sviluppo di alcune patologie diffuse e ricorrenti, come il colera.

Il secondo aspetto è quello tecnico, con un avanzamento delle possibilità di approvvigionamento anche da aree distanti e con lo sviluppo di una rete capillare.

Il terzo aspetto, che comprende i due precedenti, è la gestione politica delle reti, con la loro progettazione, finanziamento e realizzazione, la determinazione di tariffe congrue quanto corrette e il lungo momento poi della manutenzione, che appare essere il punto più debole della catena.

Tutti questi aspetti sono indagati in un volume pubblicato nel 2019 per i tipi dell'*Opificio Toscano di Economia, Politica e Storia* di Firenze – già diretto dal compianto prof. Piero Roggi (1941-2020), docente dell'ateneo fiorentino –, terzo volume della collana *Storia economica*, curata dalla professoressa Monika Poettinger (Università Bocconi), dal titolo "*L'acqua potabile*".

*bile, che da quasi un secolo è argomento di lagni*". *L'ingegner Celso Capacci e il dibattito sull'acquedotto di Firenze (1887-1918)*, curato da Simone Fagioli e con i saggi di Andrea Giuntini, Anna Giatti, Maria Beatrice Bettazzi e dello stesso Fagioli<sup>1</sup>.

Il volume – che si avvale di un contributo per ricerca e stampa di *Pubbliacqua S.p.A.*, con la prefazione del presidente Filippo Vannoni – partendo dalla pubblicazione che l'ingegnere fiorentino Celso Capacci (1854-1929) fa nel 1918 del volume *Acquedotti e acque potabili* (Milano, Hoepli, 1918) ripercorre il lungo percorso, oggi quasi bicentenario, dell'acqua pubblica a Firenze, il susseguirsi di idee, progetti, parziali realizzazioni, scontri politici, che soprattutto dagli anni successivi alla *Capitale* (1865-1871) caratterizzano il tema, prima di arrivare a impianti e strutture davvero moderni e funzionali. L'argomento è trattato in chiave socio-politica, con approfondimento sia degli aspetti economici sia di quelli tecnici, in una visione multidisciplinare.

Il nucleo del volume è dato dal saggio di Simone Fagioli (*Celso Capacci nel dibattito sull'acqua a Firenze e il volume Acquedotti ed acque potabili, 1918*), ricercatore dell'*Opificio Toscano di Economia, Politica e Storia* e curatore del *Fondo Celso Capacci*, l'archivio privato appartenuto a questo rilevante ingegnere e geologo sul quale Fagioli ha pubblicato altri saggi<sup>2</sup>, che attingendo all'archivio, con un ricco corredo di immagini e documenti inediti, ricostruisce i dibattiti a Firenze ai quali partecipa Capacci in merito sia all'approvvigionamento sia alla qualità dell'acqua, oltre a presentare estratti e analisi di relazioni, incontri, pubblicazioni, presentati all'*Accademia dei Georgofili* e altre istituzioni cittadine sia pubbliche sia private. Il saggio prende le mosse da un significativo articolo pubblicato nel 1905 dall'economista Arturo Jehan De Johannis<sup>3</sup> che introduce il lungo percorso dello sviluppo dell'acquedotto di Firenze – sua la frase «*L'acqua potabile, che da quasi un secolo è argomento di lagni*» che dà il titolo al volume – in chiave politica ed economica (l'articolo è pubblicato integralmente nella sezione *Documenti*). Dal 1905, è ricostruito

<sup>1</sup> «*L'acqua potabile, che da quasi un secolo è argomento di lagni*". *L'ingegner Celso Capacci e il dibattito sull'acquedotto di Firenze (1887-1918)*, a cura di Simone Fagioli, Firenze, Opificio Toscano di Economia, Politica e Storia, 2019, 188 pagine, illustrato.

<sup>2</sup> *Vilfredo Pareto nella Toscana del secondo Ottocento. Un'antologia di scritti editi e inediti*, a cura di S. Fagioli, Firenze, Fondazione Giovanni Spadolini - Polistampa, 2015; S. FAGIOLI, *Eyes wide shut. L'ingegner Celso Capacci da Firenze alla World's Columbian Exposition di Chicago (1893)*, in *Viaggi fantasmagorici. Lodeporica delle esposizioni universali (1851-1940)*, a cura di A. Pellegrino, Milano, FrancoAngeli, 2018, pp. 113-136.

<sup>3</sup> A.J. DE JOHANNIS, *La questione dell'acqua potabile a Firenze*, «La Rassegna nazionale», a. XXVIII, vol. CXLII, 1 aprile 1905, pp. 515-534.

a ritroso, sino alla Restaurazione, e poi in avanti, sino al limite della Grande Guerra, l'accumularsi dei tentativi di dotare la città di un sistema funzionale e moderno di acqua pubblica, sia attinta da fonti lontane (le Apuane, le montagne di Pistoia, l'Amiata) sia prelevata, con lo sviluppo delle tecniche di potabilizzazione, dall'Arno, in un intreccio indissolubile di tecnica, scienza, politica, economia. Una parte del saggio, con documenti del tutto inediti, sempre dal *Fondo Celso Capacci*, è dedicata al progetto di approvvigionamento dal fiume Sieve (1857), sviluppato da Luigi Amadei e la ditta inglese *R. Issel*, iniziato e poi abbandonato, con gravi costi per il comune di Firenze. Un capitolo infine è dedicato al tema dell'acqua "buona" e al dibattito pubblico sulla potabilizzazione e sulla qualità che percorre Firenze nel 1905. Completano il saggio di Fagioli l'analisi del volume di Capacci del 1918, una biografia sintetica dell'ingegnere e una sua bibliografia completa, pubblicata per la prima volta.

Il saggio di Andrea Giuntini (Università di Modena e Reggio Emilia), che apre il volume (*Servizi urbani, igiene e acqua nell'Italia liberale. Per una trasformazione degli stili di vita degli italiani*), inquadra in sintesi le infrastrutture di pubblica utilità, tra cui gli acquedotti, in una più ampia analisi della cultura igienista che si sviluppa in Italia e in Europa nella seconda metà dell'Ottocento, supportata da una nuova generazione di tecnici, gli ingegneri sanitari, che trattano anche il tema dell'acqua in una più ampia gestione dei servizi pubblici.

Maria Beatrice Bettazzi (Università di Bologna) contestualizza l'ingegner Capacci in una articolata visione europea della professione, con rimandi a nuovi modelli storiografici per l'analisi dei professionisti, spesso lasciati ai margini della ricerca (*Celso Capacci, ingegnere europeo*).

Anna Giatti (*Fondazione Scienza e Tecnica*, Firenze) infine focalizza l'analisi su un tema specifico, quello dei contatori per l'acqua (*Un aspetto cruciale nella distribuzione dell'acqua: i contatori*), che Celso Capacci tratta a fondo nel volume del 1918 e che rappresentano un significativo progresso per un nuovo approccio, più democratico, alla distribuzione dell'acqua. Giatti tratta anche di due commissioni che per il comune di Firenze (1887 e 1905) decidono sulla scelta del miglior sistema di misurazione per gli impianti cittadini e dei dibattiti in merito a queste scelte con la famiglia Luder, già tecnici idraulici nel Granducato.

La sezione *Documenti* oltre all'articolo di Arturo Jéhan De Johannis presenta la proposta Amadei-Issel del 1857 per l'acquedotto della Sieve (inedita, *Fondo Celso Capacci*); un articolo di Giuseppe Cavaciocchi del 1905 sullo scontro del comune con i Luder; due brani di Celso Capacci, uno tratto da

una pubblicazione del 1912<sup>4</sup> sulla qualità dell'acqua e il capitolo sugli acquedotti in Toscana dal volume del 1918.

Completano il volume una ricca e analitica bibliografia dei temi trattati e l'indice dei nomi.

<sup>4</sup> ING. CAPACCI, PROF. GASPERINI, ING. TOGNETTI, *L'acqua potabile in Firenze. Repliche alle osservazioni del Prof. Carlo De Stefani fatte alla Società Toscana d'Igiene nelle Adunanze del 19 Aprile e 3 Maggio 1912*, Firenze, Tipografia e Libreria Claudiana, 1912, pp. 3-12.

MARCELLO PAGLIAI<sup>1</sup>

## Considerazioni conclusive

<sup>1</sup> Accademia dei Georgofili

Premesso che con i cambiamenti climatici in atto è cambiata molto, fra l'altro, la variabilità delle precipitazioni tanto che se da un lato tendono a intensificarsi e a distribuirsi su un numero minore di giorni, dall'altro sono in aumento le serie siccitose con risultati che mostrano impatti diversi da zona a zona. Aumentano quindi gli eventi estremi talvolta fortemente localizzati da non incidere, in termini quantitativi, sulla significatività del fenomeno su larga scala ma che risultano devastanti proprio nella zona colpita.

Infatti, 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. L'abbandono delle sistemazioni idraulico-agrarie ha indubbiamente portato a un aumento considerevole dei deflussi nei bacini idrologici con conseguente aumento del rischio di alluvioni, per cui occorre mettere in atto con urgenza programmi di messa in sicurezza del territorio avvalendosi delle conoscenze e metodologie che i risultati della ricerca hanno messo a disposizione e anche in parte recepite dalle direttive europee e nazionali.

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 del suolo preesistente e di quello che si intende ottenere. Lavorazioni, 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 decisioni.

Le proprietà fisico-idrologiche del suolo modulate dalle pratiche agronomiche sono: spessore ad alternanza di strati, struttura, porosità, stabilità degli

aggregati, contenuto di sostanza organica, conducibilità idraulica e scabrezza superficiale.

Le anomalie climatiche, con la diminuzione del numero di eventi piovosi e l'aumento dell'intensità di pioggia, rendono quest'acqua meno efficace dal punto di vista agronomico, ma producono con frequenza sempre maggiore fenomeni di ruscellamento e drenaggio. L'acqua di pioggia che non viene trattenuta dal suolo non deve essere considerata una perdita ma, al contrario, una risorsa se, seguendo la via del ruscellamento o del drenaggio, può essere raccolta e convogliata ad alimentare i serbatoi artificiali. L'agricoltura italiana ha fornito validissimi esempi di "water harvesting" (laghetti collinari nel Centro Italia o cisterne interrato nelle zone carsiche del Sud) corredati da buone pratiche agronomiche e aziendali per ripartire le voci del bilancio idrico. L'alimentazione idrica di questi serbatoi è favorita dalle aziende agrarie che, ripristinando, in chiave moderna, le sistemazioni idraulico-agrarie e adottando le pratiche agronomiche sostenibili, offrono un servizio ecologico che la collettività deve imparare a riconoscere e garantire agli agricoltori una giusta ricompensa.

Occorre quindi un Piano quadro nazionale per il recupero delle acque realizzando infrastrutture capaci di aumentare le disponibilità idriche. A questo proposito l'ANBI ha presentato i progetti definitivi ed esecutivi, per oltre 4 miliardi di euro, che i Consorzi associati hanno disponibili in materia. Il Governo italiano sembra stia finalmente riconoscendo l'importanza strategica del rilancio degli investimenti infrastrutturali nel nostro Paese, in particolare nel settore idrico. Il documento di economia e finanza, infatti, trattando del tema della infrastrutturazione del territorio movimenterebbe fino a 200 miliardi di euro per la realizzazione di opere infrastrutturali. Tali investimenti sarebbero indirizzati, tra l'altro, alla gestione delle perdite idriche, al miglioramento del servizio di depurazione, all'adeguamento del sistema fognario, alla gestione dell'interruzione di servizio, al miglioramento della qualità dell'acqua, alla gestione della conformità alle normative, nonché ad altre voci di investimento.

L'acqua, finora, è stata la risorsa naturale più abbondante del pianeta Terra e la sua quantità può mantenersi costante nel tempo grazie ai processi di rigenerazione che la caratterizzano ma i modelli previsionali hanno evidenziato una possibile accentuazione conflittuale nell'uso della risorsa qualora dovessero continuare in modo concomitante siccità, cambiamenti climatici e trend di crescita dei consumi. Le dinamiche descritte hanno imposto la revisione, nel tempo, delle politiche pubbliche sull'acqua. In particolare la Direttiva Comunitaria 2000/60 è intervenuta in modo determinante sancendo l'applicabilità del principio del recupero dei costi relativi ai servizi idrici e prevedendo l'adozione

di misure adeguate volte ad attribuire al prezzo dell'acqua il costo complessivo di tutti i servizi ad essa connessi. L'elusione delle problematiche sociali connesse all'accesso all'acqua come diritto umano inalienabile ha esacerbato le conflittualità, rendendo improcrastinabile una revisione del quadro normativo a partire dalla differenziazione nelle modalità di gestione della risorsa in funzione delle differenti destinazioni d'uso. La tariffazione della risorsa destinata a usi produttivi e all'agricoltura in particolare necessita di essere rivista in funzione di un'applicazione del costo pieno coerente con il livello di efficienza dei servizi di fornitura e attento al tempo stesso ad assicurare la sostenibilità nell'uso della risorsa secondo le sue diverse declinazioni. Per arrivare a ciò appare evidente la necessità di incrementare la produttività economica della risorsa al fine di compensare l'eventuale aumento di tariffa determinato dall'applicazione del costo pieno. L'applicazione di tariffe adeguate consentirebbe ai gestori di un servizio idrico integrato, in presenza di un quadro legislativo certo, di acquisire le risorse finanziarie per procedere alla realizzazione degli investimenti previsti nei vari documenti di programmazione predisposti ai diversi livelli.

Proprio per affrontare la scarsità d'acqua in seguito alla crescente pressione antropica e alle conseguenze dei cambiamenti climatici e, quindi, diminuire la pressione sulle fonti di approvvigionamento idrico, la Commissione Europea ha individuato nel riutilizzo delle acque reflue una strategia di rilievo da promuovere nell'UE. Il riuso delle acque reflue per l'irrigazione, attraverso il recupero dei nutrienti, può ridurre l'uso di fertilizzanti minerali e il carico inquinante nelle acque superficiali previa, ovviamente, un'attenta valutazione di alcuni rischi associati per garantire la salute pubblica, la tutela ambientale e l'idoneità agronomica: pertanto gli obiettivi di qualità devono essere definiti in specifiche norme. Il riuso delle acque reflue depurate rappresenta una strategia coerente con i principi dell'economia circolare che può contribuire ad attenuare situazioni di forte criticità. Fino ad ora questioni di carattere tecnologico e normativo hanno ostacolato la diffusione di questa pratica, ma la messa a punto di adeguate tecnologie di depurazione, nonché l'approvazione di una disciplina europea per il riuso, potranno favorire il riutilizzo delle acque reflue in agricoltura. Oltre al superamento delle barriere di carattere tecnologico e culturale, per dare un adeguato supporto alla diffusione del riuso dei reflui in agricoltura, è opportuno che siano individuati criteri di ripartizione dei costi e modalità di incentivazione tali che il costo dell'acqua riciclata non rappresenti un ostacolo alla diffusione del riuso a scopi irrigui, sebbene sia stato evidenziato come il costo per l'impiego dell'acqua reflua depurata risulti più alto rispetto all'acqua da fonte convenzionale, a causa degli elevati standard di qualità richiesti.

Fra il riutilizzo delle acque reflue, sicuramente l'acqua di vegetazione dei frantoi oleari è una risorsa da valorizzare, soprattutto nel settore alimentare per le proprietà nutraceutiche e salutistiche contenute nei composti delle stesse acque di vegetazione. Su quest'ultimo aspetto sono in corso ricerche innovative che hanno già fornito risultati convincenti che sembrano aprire prospettive davvero inaspettate.

Infine, è stato presentato il volume *“L'acqua potabile, che da quasi un secolo è argomento di lagni”*. L'ingegner Celso Capacci e il dibattito sull'acquedotto di Firenze (1887-1918), a cura di S. Fagioli, a testimonianza di quanto la gestione delle risorse idriche sia stata importante nel passato e lo sarà sempre di più anche in futuro.

Concludendo, si sottolinea con forza che la corretta gestione delle risorse idriche e del suolo sarà la sfida dell'immediato futuro. Occorrerebbero infatti norme nazionali per la protezione del suolo, per invertire la tendenza al suo consumo, tutt'ora crescente, e per la tutela e messa in sicurezza del territorio. Sarebbe necessario incentivare e sostenere una ripresa di una nuova progettazione di sistemazioni idraulico-agrarie in chiave moderna, così come promuovere un Piano quadro nazionale finalizzato a incentivare le aziende a recuperare e accumulare l'acqua piovana, attraverso la creazione di serbatoi artificiali.