

Piantagioni clonali di eucalitto fertirrigate con reflui urbani depurati (sistema semplificato SI-UNIBAS): una opportunità da considerare

Giovanni Mughini⁽¹⁾,
Salvatore Masi⁽²⁾

Clonal eucalyptus plantations fertirrigated with purified urban wastewater (simplified SI-UNIBAS system): a viable opportunity

The development of a “wood waste” supply chain using treated urban waste is proposed for fertirrigation of eucalypt clonal plantations. We used the simplified SI-UNIBAS urban waste water purification system, a modification of the conventional activated sludge system which allows for the production of water with variable loads of organic carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P), thus adapting the treated water to the crop requirements. A prototype of this system already exists since more than a decade in the municipality of Ferrandina, near Matera (southern Italy), where the purified wastewater is used to fertirrigate olive trees in an extensive experimentation with excellent results. We hypothesized the use of the SI-UNIBAS system to fertirrigate plantations of fast-growing eucalyptus clones in order to evaluate the obtainable wood production and the surfaces to be planted in areas of central and southern Italy characterized by evergreen and deciduous oak forests. In summary, the development of the “wood waste” chain could result in: (i) a reduction of up to 50% in waste treatment costs and CO₂ emissions, compared to the conventional activated sludge system; (ii) a high and constant wood production (8 million m³ per year) over a short time (8-15 years rotation) on limited surfaces (about 400,000 ha) to be used as timber and/or biomass for energy use; (iii) savings on the cost of irrigation water, fertilizers or organic matter for wood production, while maintaining the soil fertility; (iv) savings on the use of chemical fertilizers and therefore no CO₂ emissions from their production; (v) a lower logging from national forests and/or imports from abroad; (vi) the possibility of managing parts of forests currently subject to logging in a more efficient way in terms of absorption and conservation of atmospheric CO₂ and biodiversity conservation. However, before large-scale applications of the SI-UNIBAS system, pilot studies need to be implemented in sites with soil, climatic and socio-economic conditions typical of central and southern Italy. We concluded that the SI-UNIBAS system has the potential to be applied in large-scale projects at the national level.

Keywords: *Eucalyptus*, Clone, Timber, Biomass, Fertigation, Urban Wastewater, Purification

Introduzione

Il consumo annuale di legno in Italia (JRC 2015) è stimato in 53.52 milioni di metri cubi (m³), di cui 10.82 milioni di m³ come legname da opera (20.2%) e 42.70 milioni di m³ come biomassa per uso energetico (79.8%). Una parte di

questo consumo potrebbe essere soddisfatto impiegando legno di eucalitto. La “domesticazione” di questa pianta, avvenuta a partire dai primi anni ‘60 del secolo scorso, ha infatti permesso di costituire varietà clonali di eccezionali caratteristiche quali-quantitative in grado di soddisfare il mercato del legname da opera (compreso quello per usi strutturali) e quello delle biomasse per usi energetici (legna da ardere, pellet, cippato – Martin 2003). I turni sono compresi tra 5 e 15 anni in base agli assortimenti richiesti (più brevi per biomassa, più lunghi per biomassa e legname da opera). Le produzioni variano a seconda del modello colturale adottato, delle caratteristiche pedoclimatiche delle stazioni e dei cloni impiegati. Le piantagioni costituite in zona tropicale e subtropicale umida sono le più produttive. In Brasile, ad esempio, la produzione legnosa media è stimata in 40 m³ ha⁻¹ anno⁻¹ che, in alcune zone particolarmente vocate, può arrivare a 100 m³ ha⁻¹ anno⁻¹. Il traguardo dei 56 m³ ha⁻¹ anno⁻¹ medi è previsto per il 2025 (Colodette et al. 2014). Le *cultivar* di maggior successo sono cloni di *Eucalyptus* × *urograndis* (ibridi tra *E. grandis* W. Hill e *E. urophylla* S.T. Blacke).

L’impiego dell’eucalitto come legname da opera è relati-

□ (1) Già CREA Centro di ricerca Foreste e Legno, l.go dell’Olgiate 15, I-00123 Roma (Italy); (2) Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, v.le dell’Ateneo Lucano 10, I-85100 Potenza (Italy)

@ Giovanni Mughini (gmughini@gmail.com)

Ricevuto: Mar 06, 2021 - Accettato: Oct 16, 2021

Citazione: Mughini G, Masi S (2021). Piantagioni clonali di eucalitto fertirrigate con reflui urbani depurati (sistema semplificato SI-UNIBAS): una opportunità da considerare. *Forest@* 18: 85-92. - doi: [10.3832/efor3802-018](https://doi.org/10.3832/efor3802-018) [online 2021-10-27]

Editor: Marco Borghetti



Fig. 1 - Galizia (Spagna). Impiego di eucalitto come legname da opera. Tutti i manufatti in legno nella foto, compresi infissi e pareti dell'edificio, sono di *E. globulus* ssp. *globulus* (<http://www.cismadera.com>).

vamente recente, databile dall'inizio del secolo (Martin 2003). Il legname impiegato in Europa con i nomi di Rovere del Cile, Rovere del Vittoria, Rovere della Tasmania, Lyptus è eucalitto proveniente da piantagioni del sud America, Sud Africa o dalla Penisola Iberica. I cloni di *E. grandis* e *E. × urograndis* sono molto apprezzati per la produzione di legname da opera ma anche quelli di *E. globulus* Labill ssp. *globulus* (Fig. 1) e di *E. dunnii* Maiden. In Italia alcuni cloni di *E. grandis*, in una sperimentazione effettuata negli anni '90, hanno dato ottimi risultati qualitativi con produzioni di circa 25 m³ ha⁻¹ anno⁻¹ e legname idoneo per segati, sfogliati e lamellare (Berti et al. 2000, Mughini 2001). Anche in precedenti sperimentazioni *E. grandis*, confrontato con altre specie, aveva dato ottimi risultati (Mughini 1991). Nel Parco Nazionale del Circeo vi sono alcune piante monumentali messe a dimora negli anni '30, con dimensioni che raggiungono i 46.23 metri di altezza per 3.27 cm di circonferenza a 130 cm dalla base ("I fantasmi di Sabaudia" - <https://www.gianttrees.org>).

Il legno di eucalitto viene impiegato in Italia, nonostante le statistiche ufficiali non permettano di quantificare le importazioni e i settori di impiego. Sappiamo che l'industria cartaria importa pasta di cellulosa di eucalitto dalla Penisola Iberica e dal Sud America. Semilavorati di eucalitto vengono importati sempre dalle stesse aree menzionate dall'industria di trasformazione nazionale. Prodotti finiti come parquet, mobili, infissi sono normalmente commercializzati in Italia. È probabile che si importi anche biomassa per uso energetico (cippato, pellet, legna da ardere), ma è certo che venga usato per questi scopi anche l'euca-

lito cresciuto in Italia. Il tutto però sfugge alle statistiche nazionali.

L'approvvigionamento di una parte del legname da opera e/o biomassa legnosa per uso energetico necessario al mercato nazionale, potrebbe pertanto essere assicurato con la costituzione di piantagioni clonali di eucalitto. Per poter avere però produzioni elevate e costanti nel tempo, senza depauperare la fertilità dei suoli, sarebbero necessarie concimazioni e irrigazioni, interventi costosi che, specialmente quelli idrici, creerebbero conflittualità con le colture agricole irrigue. L'acqua infatti, in zona mediterranea nel centro-sud Italia, è una risorsa scarsa. Inoltre, usare concimi di sintesi comporterebbe l'emissione di anidride carbonica (CO₂) nell'atmosfera a causa dei loro processi produttivi.

Il nostro paese ha un sistema di depurazione delle acque reflue urbane fortemente deficitario. L'Italia è stata deferita dalla Commissione europea alla Corte di giustizia per inquinamento atmosferico e trattamento inadeguato delle acque reflue urbane (Commissione Europea 2019). L'Italia non garantisce che tutti i comuni con una popolazione di oltre 2.000 abitanti dispongano di reti fognarie per le acque reflue urbane e che siano trattate in modo adeguato prima dello scarico, come prescritto dalla direttiva concernente il trattamento delle acque reflue urbane (direttiva 91/271/CEE). La Commissione Europea valuta che ben 620 comuni in 16 regioni (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Friuli-Venezia Giulia, Lazio, Liguria, Lombardia, Marche, Puglia, Sardegna, Sicilia, Toscana, Umbria, Valle d'Aosta e Veneto) violino le norme UE sugli obblighi di raccolta o trattamento delle acque reflue urbane. Il nostro paese è inadempiente da ben 13 anni ed è recidivo sull'argomento, in quanto è già stato condannato con altre due sentenze della Corte che riguardavano comuni più grandi, che hanno comportato il pagamento di ammende. Questa situazione implica il dover pagare multe alla UE per il mancato adeguamento.

Lo sviluppo di una filiera "refluo legno" potrebbe concorrere a ridurre parte delle criticità esposte, fertirrigando con reflui urbani pretrattati, piantagioni clonali di eucalitto. La fertirrigazione di piantagioni di eucalitto, ma anche di altre piante da legno, è pratica consolidata a livello mondiale. Per citarne alcune, molto interessanti sono i risultati delle piantagioni di eucalitto costituite nel deserto egiziano vicino ad Ismailia, fertirrigate a goccia con il refluo urbano pretrattato della città (Evet et al. 2011), così come le piantagioni, sempre di eucalitto, realizzate in zone calde aride dell'Australia oppure quelle in Florida (Myers et al. 1999, Rockwood et al. 2004). In Svezia a Enköping sono invece state costituite piantagioni di salice fertirrigate con reflui della città (Dimitriou & Aronsson 2005). Nel nostro caso, come refluo si ipotizza di impiegare quello depurato secondo il sistema semplificato SI-UNIBAS, messo a punto dalla Scuola di Ingegneria

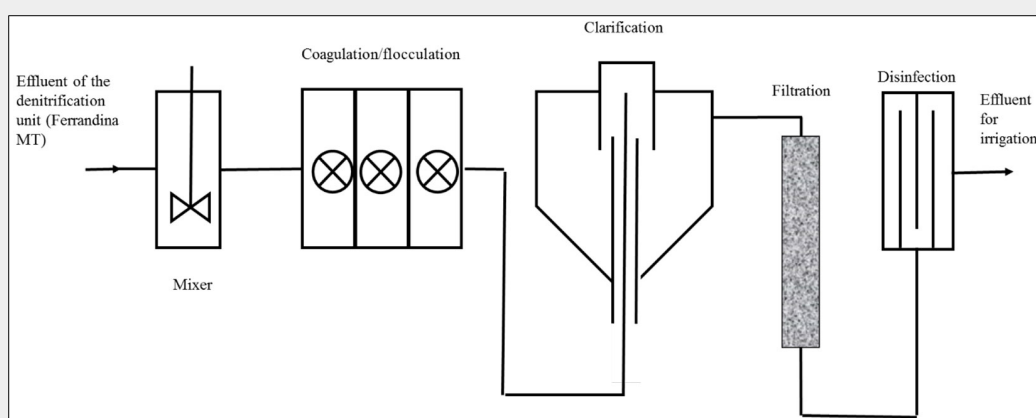


Fig. 2 - Schema del sistema di depurazione di reflui urbani semplificato SI-UNIBAS. Impianto pilota di Ferrandina, provincia di Matera (ripreso da: Viccaro et al. 2017).

dell'Università della Basilicata (Masi et al. 2008).

Il sistema di depurazione semplificato SI-UNIBAS è una modifica del sistema convenzionale a fanghi attivi (Fig. 2), che permette la produzione di acque con carichi variabili di carbonio organico (C), azoto (N) e fosforo (P) adattando le acque depurate alle esigenze delle colture irrigue (Viccaro et al. 2017). Questo sistema semplificato può contribuire a ridurre al minimo le emissioni in atmosfera di ossido di azoto (N₂O), e di CO₂ durante il processo di rimozione dell'N (denitrificazione, nitrificazione) e i processi di ossidazione del C lungo la linea di trattamento (Viccaro et al. 2017).

In Basilicata, il refluo trattato con il sistema semplificato SI-UNIBAS è stato oggetto di una ampia sperimentazione di fertirrigazione su ulivo (Palese et al. 2009, Lopez et al. 2016) e di una ipotesi di impiego per la fertirrigazione di cedui di pioppo a rotazione breve (Viccaro et al. 2017).

La nostra ipotesi (fertirrigazione con reflui urbani di piantagioni di eucalitto) si basa pertanto su un'esperienza consolidata, in cui si prevede di valutare quali risultati potrebbe avere l'eucalitto se sottoposto al sistema di fertirrigazione già adottato per l'ulivo e ipotizzato per il pioppo. Produrre legno con piantagioni di eucalitto fertirrigate con reflui urbani, permetterebbe di ridurre parte dei prelievi effettuati attualmente nelle nostre foreste e/o parte delle importazioni dall'estero. Il minor prelievo dalle nostre foreste consentirebbe di incrementarne la capacità di accumulo di CO₂ atmosferica sotto forma di C, evento questo auspicabile in quanto le foreste sono, insieme ai suoli agricoli, gli unici "strumenti" naturali di cui disponiamo nelle terre emerse per ridurre la concentrazione di CO₂ atmosferica, causa principale dei cambiamenti climatici in atto.

Perché si possa sviluppare una filiera "refluo legno", come quella accennata, è fondamentale una stretta collaborazione tra vari soggetti: industria del legno, imprese della depurazione, compagnie forestali, settore agricolo, amministrazioni locali e enti preposti alla gestione delle acque reflue. La sinergia tra questi soggetti attiene più ad aspetti politico-organizzativi, che non rientrano negli scopi del presente lavoro. Aspetti che dovranno essere affrontati nel dettaglio nel momento in cui, l'ipotesi di sviluppare una filiera "refluo legno", fosse accettata.

Lo scopo di questo lavoro è, invece, stimare quale potrebbe essere la potenziale superficie e produzione legnosa di eucalitto, fertirrigato con reflui urbani depurati con il sistema semplificato SI-UNIBAS, su cui potrebbe basarsi la filiera "refluo legno".

Materiali e metodi

Sistema di depurazione delle acque reflue SI-UNIBAS

Il sistema di trattamento delle acque reflue urbane semplificato SI-UNIBAS consente di rimuovere gli agenti patogeni e, allo stesso tempo, rilasciare i nutrienti per la fertirrigazione delle colture (Viccaro et al. 2017). Esiste un impianto pilota, realizzato nel Comune di Ferrandina (MT), che è alimentato con gli effluenti dell'unità di denitrificazione del sistema convenzionale di trattamento di reflui, per ottenere il refluo idoneo all'irrigazione (Fig. 3). Il sistema semplificato (Fig. 2) esclude i processi biologici per la materia organica e la rimozione dell'azoto per recuperarli e utilizzarli come fertilizzanti. Pertanto, il sistema di aerazione progettato per fornire la quantità di ossigeno necessaria per le attività dei batteri in un convenzionale sistema a fanghi attivi, è qui escluso dal



Fig. 3 - Ferrandina (MT). Prototipo del sistema di depurazione acque reflue urbane semplificato SI-UNIBAS.

bilancio energetico e di massa del C. Tale esclusione riduce la gestione e i costi energetici legati all'aerazione e alle emissioni indirette di CO₂ dovute al consumo di energia. Il primo gruppo di pretrattamento dello schema semplificato è una griglia per la pulizia manuale, nella quale i solidi pesanti vengono rimossi dall'influenza. Segue la fase di coagulazione/flocculazione, consistente in un sistema di dosaggio e reazione e un miscelatore rapido, in cui la collisione delle particelle e la crescita dei flocculi sono favoriti da prodotti chimici. Questa unità è seguita da chiarificazione per garantire una separazione dei solidi dalle acque reflue trattate per decantazione (Viccaro et al. 2017).

Un sistema idraulico consente l'estrazione dei fanghi dalla base del decantatore, mentre il chiarificato dell'effluente entra nell'unità di filtrazione costituita da un letto di sabbia monostrato. Dal momento che il controllo di patogeni e composti fecali (coliformi totali, coliformi fecali, *Escherichia coli*, *Streptococchi fecali* e *Salmonella*) è fondamentale per ridurre al minimo i rischi per la salute legati al recupero e al riutilizzo delle acque reflue, queste ultime una volta chiarificate vengono trattate nell'unità di disinfezione. Infine, l'effluente viene immagazzinato in una cisterna interrata per irrigare le colture tramite un sistema di irrigazione a goccia (Viccaro et al. 2017). Le principali caratteristiche dell'impianto pilota sono riassunte nella Tab. 1.

Il sistema semplificato dell'impianto pilota (Palese et al. 2009), tuttora operativo, è stato provato irrigando un uliveto limitrofo al paese di Ferrandina. L'impianto pilota ha ottenuto importanti risultati per quanto riguarda la rimozione selettiva delle frazioni prontamente biodegradabili e la parziale rimozione dei composti azotati.

Tab. 1 - Caratteristiche dell'impianto pilota di Ferrandina (MT), ripreso da Viccaro et al. (2017).

Fase	Caratteristiche
Raccolta e pretrattamento	Pompa centrifuga a girante aperta - intervallo 1-10 m ³ h ⁻¹ Griglia a pulizia manuale - diametro passante 3 mm
Sedimentazione/flocculazione	Superficie netta 6.25 m ² , volume netto 12.5 m ³ , perimetro max 8.8 m Dotato di sistema di dosaggio, reazione e miscelatore rapido (0.5 kW) Sistema idraulico di estrazione fanghi
Disinfezione del filtro	Unità di pressione con letto di sabbia monostrato. Diametro 1.5 m, Altezza 2 m. Serbatoio a contatto (solo prodotti liquidi). Volume netto 2.5 m ³ . Miscelatore rapido 0.5 kW

Tab. 2 - Elenco dei valori medi di azoto totale (N) e fosforo (P) misurati negli effluenti dell'impianto pilota di Ferrandina (MT) in periodi diversi. (a): Lopez et al. (2016); (b): Palese et al. (2009).

Elementi	Unità di misura	Valore medio			
		(a)	(a)	(a)	(b)
N	mg l ⁻¹	61.9	35.0	15.0	18.3
P	mg l ⁻¹	2.3	8.0	2.0	1.0

Le analisi chimiche delle acque reflue trattate hanno mostrato che la quantità di elementi nutritivi distribuiti per irrigazione ha soddisfatto il fabbisogno nutritivo dell'uliveto (Palese et al. 2009). Rispetto alle condizioni pluviometriche, l'effluente trattato ha determinato un aumento della resa del 50%, accelerando la crescita degli alberi e migliorando le caratteristiche delle olive. Inoltre, l'effluente ottenuto aveva un carattere microbiologico con qualità non significativamente peggiori di quella degli effluenti secondari convenzionali trattati anche terziariamente (Palese et al. 2009).

La sperimentazione svolta sul prototipo ha evidenziato la versatilità del sistema, in quanto è possibile regolare la concentrazione dei nutrienti e della sostanza organica nel refluo, adattandoli alle esigenze della coltura. Nella Tab. 2 sono riportate, a titolo di esempio, le concentrazioni di N e P generate negli anni di sperimentazioni in funzione delle prove effettuate. Il più che decennale impiego del sistema di distribuzione del refluo a goccia ha, inoltre, permesso di mettere a punto un protocollo di manutenzione dell'impianto per evitare otturazioni sulle linee e nei gocciolatoi.

Il risparmio in termini economici nei confronti del sistema convenzionale può arrivare fino al 50% (dipende dal livello di depurazione del refluo), senza considerare il risparmio dei concimi e dell'acqua irrigua (Masi et al. 2008, Palese et al. 2009), sempre fino al 50% di risparmio anche per quelli energetici in termini di emissione di CO₂ nell'atmosfera (Caniani et al. 2019).

Disponibilità di acque reflue urbane

Il consumo di acqua potabile in Italia è stimato in 7 miliardi di m³ (ISTAT 2017). Nella nostra ipotesi si è supposto di applicare il sistema di depurazione semplificato SI-UNIBAS a una parte consistente dei comuni dell'Italia centro-meridionale, aggiungendovi anche quelli della Regione

Emilia Romagna ricadenti nell'area romagnola.

I comuni interessati sono quelli compresi nelle fasce altitudinali riportate nella Tab. 3, che variano a seconda della regione, in quanto si sono considerate solo quelle con condizioni climatiche idonee alla coltivazione dell'eucalitto. Per ogni regione si è considerato il potenziale refluo dei soli residenti prodotto dal consumo d'acqua potabile (ISTAT 2017), escludendo quello derivante da fonti private e quello dovuto all'incremento demografico stagionale nelle zone di soggiorno turistico. I quantitativi di acqua *pro capite*, indicati in Tab. 3, sono quelli erogati e non quelli immessi nella rete idrica, e sono pertanto già al netto delle perdite della rete di distribuzione. A questi si è prudenzialmente operata una decurtazione del 20% per escludere: (i) microscarichi di dimensione tale da non giustificare un sistema di recupero (meno di 1000 m³ non permetterebbero neanche 10 ettari di impianto); (ii) utenze non allacciate alla fognatura dotate di sistemi autonomi come fosse *imhoff* o similari (case singole o piccoli insediamenti produttivi e turistici); (iii) scarichi di aree in territori urbanisticamente congestionati, dove occorrerebbero condotte di oltre 10 km per trovare aree idonee agli impianti.

In totale le acque reflue urbane potenzialmente utilizzabili, nella simulazione, corrispondono pertanto a circa 1.9 miliardi di m³. Si è ipotizzato di estendere a tutti i comuni il sistema di depurazione semplificato delle acque reflue SI-UNIBAS, anche a quelli attualmente provvisti del sistema convenzionale, per i vantaggi che questo comporterebbe. In quest'ultimo caso, non sarebbe necessario costruire un impianto di depurazione semplificato *ex novo*, ma basterebbe apportare alcune modifiche a quelli convenzionali già esistenti. Modifiche che, nel caso in cui si volesse ritornare al sistema convenzionale, potrebbero essere escluse (Masi et al. 2008).

Cloni di eucalitto: protocollo di coltivazione

A causa dei cambiamenti climatici in atto è ormai possibile impiegare in larga parte delle zone a clima mediterraneo italiane cloni di *E. grandis* e i suoi ibridi come *E. × urograndis* (Mughini 1991, 2001, Agricoltura News 2016). Inoltre sono attualmente disponibili cloni di eucalitto selezionati dal CREA Centro di ricerca Foreste e Legno (Velino, Viglio, Sirente, ibridi di *E. camaldulensis* Dehn. × *E. globulus* ssp. *bicostata* e Majella *E. camaldulensis* × *E. grandis* – Mughini et al. 2014, Mughini 2016). A questi si possono aggiungere cloni francesi di *E. × gundal* (ibridi di *E. gunnii* Hook F. × *E. dalrympleana* Maiden), con minori esigenze

Tab. 3 - Altitudine massima piantagioni, metri cubi (m³) di acqua potabile *pro capite* annua, numero abitanti, ettari piantagione e m³ di produzione legnosa per regione.

Regioni	Altitudine (m s.l.m.)	Abitante		Abitanti (n)	Consumo acqua (m ³)	Piantagioni (ha)	Produzione Legnosa (m ³)
		(m ³ anno ⁻¹)	(-20%)				
Abruzzo	0-400	91	73	1.301.111	94.720.881	18.944	397.828
Basilicata	0-600	74	59	554.086	32.801.891	6.560	137.768
Calabria	0-600	104	83	1.915.516	159.370.931	31.874	669.358
Campania	0-500	75	60	5.770.111	346.206.660	69.241	1.454.068
Emilia Romagna (Romagna)	0-300	73	58	1.281.243	74.824.591	14.965	314.263
Lazio	0-400	78	62	5.846.850	364.843.440	72.969	1.532.342
Marche	0-300	71	57	1.511.648	85.861.606	17.172	360.619
Molise	0-400	90	72	300.116	21.608.352	4.322	90.755
Puglia	0-700	57	46	3.993.304	182.094.662	36.419	764.798
Sardegna	0-700	73	58	1.624.216	94.854.214	18.971	398.388
Sicilia	0-800	67	54	4.948.034	265.214.622	53.043	1.113.901
Toscana	0-400	64	51	3.709.139	189.907.917	37.982	797.613
Totale	-	-	-	32.755.374	1.912.309.769	382.462	8.031.701

termiche dei precedenti. In questo modo è possibile la costituzione delle piantagioni in tutte le zone dove vegetano le specie quercine sempreverdi e decidue.

Non vi sono molti problemi per il tipo di terreni, in quanto l'eucalitto è molto rustico, e nemmeno per la loro fertilità, che verrebbe assicurata dalla fertirrigazione. Quello che conta è invece la profondità dei suoli che è importante non siano inferiori ad un metro, per favorire un buon sviluppo degli apparati radicali, una buona capacità di immagazzinamento del reflu e delle acque meteoriche per evitare eventuali percolazioni.

Il protocollo di coltivazione, per sommi capi, raccomandato è il seguente: (i) materiale d'impianto: talee radicate in pane di terra di 5 mesi; (ii) densità d'impianto: 1.100 piante ettaro (3×3 m); (iii) turno previsto 8-15 anni. Prima dell'impianto è necessaria la preparazione del terreno con lavorazione profonda a due strati (discissura dello strato profondo e aratura di quello superficiale) e discatura. Dopo la messa a dimora del postime, è previsto un diserbo chimico localizzato (antigerinello e sistemico) intorno alle piante per eliminare le infestanti, oppure in alternativa, quadrotto pacciamente in fibra naturale degradabile (juta o altri materiali).

Tra le file, ciclicamente e fino alla chiusura delle chiome, è previsto lo sfalcio delle infestanti, per ridurre la competizione, l'evapotraspirazione e il rischio incendi. Alla chiusura delle chiome di solito l'ombreggiamento riduce la presenza di infestanti ma, per i motivi già descritti, è opportuno effettuare almeno uno sfalcio prima dell'inizio del periodo siccitoso.

La fertirrigazione è prevista avvenga a goccia per subirrigazione. In tal modo si eviteranno rischi di furto, perdita per incendio e rotture per passaggio mezzi delle ali gocciolanti; inoltre ciò eviterà la presenza di reflu in superficie. Non è prevista alcuna concimazione iniziale o irrigazione localizzata post-impianto nel caso si inizi da subito con la fertirrigazione.

Sarebbe opportuno, dove possibile, perimetrare le piantagioni con un argine in terra di circa 100 cm di altezza (Fig. 4). Tale manufatto ha lo scopo di trattenere le acque meteoriche in particolare quelle originate da eventi di forte intensità (nubifragi) che generano ruscellamento e quelle di esondazione (Prinz 2001). L'argine in terra favorirebbe la decantazione dei sedimenti, arricchendo il terreno (nutrienti, sostanza organica, suolo), la disponibilità idrica e la ricarica delle falde superficiali. L'eventuale sommersione per più giorni della piantagione non creerebbe problemi, poiché l'eucalitto è in grado di sopportarla per lunghi periodi (McMahon et al. 2010, Rockwood et al. 2004).

Stima della produzione legnosa potenziale

Nella presente ipotesi si prevede di arrivare ad avere una produzione media prudenziale di $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ di massa cormometrica ritraibile (tronchi scortecciati fino a 5 cm di diametro).

Si stima che una tonnellata di biomassa anidra di eucalitto contenga circa 5-6 kg di N, 1 kg di P, 2 kg di potassio (K), 2 kg di calcio (Ca), 1 kg di magnesio (Mg – Gonzalez-García et al. 2015, Laclau et al. 2000, 2003). Ne deriva che in 20 t di biomassa anidra vi sono circa 120 kg di N e 20 kg di P.

Secondo Jimenez et al. (2007), in piantagioni convenzionali di *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* in Spagna, la quantità di acqua necessaria per produrre 1 kg di biomassa anidra è valutata in 306 litri (l), mentre in Brasile (Novaes 1996), sempre in piantagioni convenzionali, sono necessari 340 l. Non disponendo per l'eucalitto di analoghi dati per i contesti italiani, quelli menzionati sono stati usati, come orientamento generale. Per la quantità di acqua necessaria per produrre 1 kg di biomassa anidra si è im-

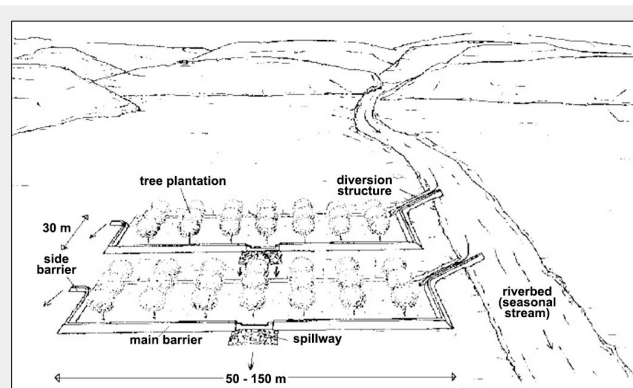


Fig. 4 - Schema generale della sistemazione del terreno per la raccolta delle acque di ruscellamento superficiale e di esondazione (ripreso da: Prinz 2001, modificato).

gato la media dei due dati citati (323 l).

Per ottenere $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ la quantità di reflu ad ettaro è stata stimata in 5.000 m^3 . Nelle zone dell'Italia centro meridionale più i comuni della parte romagnola dell'Emilia Romagna (Tab. 3), la piovosità annua mediamente non è mai inferiore ai 500 mm. Prudenzialmente, si è considerato che solo un 30% di questa resti disponibile per le piante, cioè 150 mm che corrispondono a 1.500 m^3 da aggiungere ai 5.000 precedenti.

Nei 5.000 m^3 , la concentrazione nel reflu a fine trattamento si è stimato venga regolata in modo da fornire 120 kg di N e 20 kg di P, nutrienti necessari per produrre 20 tonnellate di sostanza secca (t_{ss}).

La fertirrigazione con 6.500 m^3 di reflu, pertanto, dovrebbe assicurare una produzione di $20.12 t_{ss} \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$. Il dato è stato prudenzialmente ridotto del 10% portandolo a $18.00 t_{ss} \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, inferiore a quello riscontrato in altre esperienze (Fernández Martínez et al. 2016). Orientativamente, $18 t_{ss}$ corrispondono a 31.5 m^3 (densità basale 570 kg m^{-3} – Castro & Paganini 2003). A fine turno si prevede l'asportazione dei soli tronchi scortecciati fino ad un diametro di 5 cm lasciando corteccia, rami, foglie sul letto di caduta, per essere in seguito triturati e lasciati sul terreno. Secondo Laclau et al. (2000, 2003), adottando questo metodo di utilizzazione, ormai impiegato convenzionalmente in quasi tutti i paesi ma non in Italia, si restituisce al suolo circa il 30% della sostanza organica e il 75% dei nutrienti presenti nella parte epigea delle piante, che andranno ad arricchire la parte organica del suolo. Si stima pertanto che la produzione legnosa ritraibile possa ammontare a circa $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ($=31.5 \times 70\%$).

È prevedibile che gli apporti idrici derivanti dalle acque trattate dal sistema di argini a perimetro delle piantagioni aumentino i $6.500 \text{ m}^3 \text{ ha}$ di acqua considerati. L'esperienza dei Liman nel Deserto del Neghev in Israele ne è un esempio (Brunori et al. 1995). Nella presente ipotesi però si è preferito escluderli prudenzialmente in questa fase.

La quantità di N prevista annualmente ad ettaro con la fertirrigazione (120 kg ha^{-1}) è inferiore al quantitativo massimo previsto dalla Direttiva Nitrati che è di 170 kg ha^{-1} (DL 11/05/1999, n. 152 e DM 7/04/2006); anche nel caso in cui alcune piantagioni fossero costituite in terreni soggetti a tale direttiva, i quantitativi sarebbero a norma di legge. Comunque, per evitare possibili fenomeni di percolazione e favorire l'assorbimento dei nutrienti da parte delle piante, la fertirrigazione è prevista nel periodo vegetativo (aprile-ottobre) con massimi nei mesi più caldi (luglio-agosto), privilegiando i periodi più siccitosi. I quantitativi per ogni ciclo di fertirrigazione saranno regolati in base a sensori di umidità per evitare superamenti della capacità di

campo. La caratteristica del clima mediterraneo di avere le piogge concentrate nel periodo autunno invernale con qualche evento in primavera e una prolungata siccità estiva in questo caso risulta favorevole.

Lo schema generale descritto, in fase operativa, dovrà essere adattato alle caratteristiche pedoclimatiche della stazione in cui verranno realizzate le piantagioni.

Stima del risparmio di emissione di CO₂ per i concimi azotati

Se invece di impiegare l'N presente nel refluo si dovesse usare urea, la quantità di CO₂ emessa mediamente in atmosfera per produrne 1 kg (riferito alla quantità di N) è stimata in circa 2 kg, impiegando per la sua produzione gas naturale (<https://www.fertilizerseurope.com>). L'emissione di CO₂ per 120 kg di N sotto forma ureica (quelli previsti per ha e per anno) corrisponde a 240 kg. L'uso del refluo permette pertanto di evitare, nel caso dei 380 mila ettari, l'emissione in atmosfera di una quantità annua di CO₂ pari a 91.2 t (=380.000 ha × 240 kg).

Risultati e discussione

Patogeni e composti fecali (coliformi totali, coliformi fecali, *Escherichia coli*, Streptococchi fecali e Salmonella) nel sistema di depurazione semplificato SI-UNIBAS sono tenuti sotto controllo con un'unità di disinfezione, la cui efficienza è stata concepita e validata per l'impiego del refluo in una coltura alimentare (olivo). Pertanto, nel caso specifico, trattandosi di produzione legnosa, l'adozione dello stesso sistema di disinfezione dovrebbe essere più che idoneo. Inoltre la fertirrigazione, avvenendo per subirrigazione, assicura che il refluo non raggiunga il livello di campagna.

È inoltre necessario considerare che gli interventi colturali (sfalci tra le file) previsti nel corso della crescita della piantagione sono meccanizzati. Il taglio finale è anch'esso meccanizzato in tutte le sue fasi. In nessuna fase gli operatori entrano a contatto diretto con il terreno se non nella sostituzione di eventuali gocciolatoi o tubi otturati, oppure nel caso di rotture di condutture che potrebbero comportare l'affioramento del refluo. In questi casi si tratterebbe di operazioni da effettuare con le stesse precauzioni adottate già nel caso di analoghe situazioni nell'uliveto.

Il vantaggio derivante dall'adozione del sistema semplificato di depurazione SI-UNIBAS, nei confronti del convenzionale a fanghi attivi, è più che evidente in termini economici (riduzione costi di gestione fino al 50%) e ambientali (riduzione fino al 50% di emissioni di CO₂ in atmosfera). Il livello di risparmio è direttamente proporzionale alle concentrazioni di N e P lasciate nel refluo.

Nella Tab. 3 sono riportati la quantità di legno, espressa in m³ ritraibile, e gli ettari di piantagione necessari distinti per regione ed il totale. In generale, 1.9 miliardi di m³ di refluo urbano, depurato con il sistema semplificato SI-UNIBAS, permetterebbero di assicurare una produzione complessiva di legno annua di 8 milioni di m³. Gli ettari necessari sarebbero invece poco meno di 400 mila (380 mila ha).

La superficie totale delle piantagioni previste (380 mila ha) rappresenta poco meno del 3% della superficie agricola italiana (SAU), l'1.26% del territorio nazionale e il 3.63% della superficie forestale nazionale. Si tratta di aree molto ridotte, in termini assoluti e percentuali, dunque facilmente reperibili sul territorio nazionale, in quanto si distribuiscono a "macchia di leopardo", essendo vincolate alla dislocazione delle aree urbanizzate. Altro aspetto da considerare del presente modello è che ogni impianto di depurazione e piantagione collegata sono unità autonome, in nessun modo condizionate dalle altre. Ognuna di esse può essere realizzata anche se non fosse possibile per altre zone limitrofe.

Le aree per l'attuazione della presente ipotesi non dovrebbero mancare in Italia. Secondo Calfapietra et al. (2015) sarebbero presenti in Italia 4.2 milioni di ha di terreni agricoli potenzialmente idonei per la costituzione di piantagioni di conifere e latifoglie, di cui 3.4 milioni di ha idonei per la coltivazione di salicacee per cedui a rotazione breve (SRF) con turni massimi di 5 anni, di cui 2.1 milioni di ha idonei per *Populus × canadensis* Moench. In questo caso, conoscendo le esigenze pedoclimatiche e nutrizionali di pioppi e salici, deve trattarsi di terreni agricoli di buona fertilità dal medio impasto al sabbioso irrigui o con falde superficiali (2 metri) esplorabili dagli apparati radicali o soggetti ad inondazioni periodiche. Terreni più che idonei per l'eucalitto. È opportuno sottolineare che nel nostro caso, come precedentemente accennato, non è importante la natura del terreno ma la sua profondità, e che nutrienti e acqua sono assicurati con la fertirrigazione. Pertanto, l'individuazione di 380 mila ha di terreni agricoli idonei all'eucalitticoltura non dovrebbe essere un problema, nemmeno considerando la disponibilità di ulteriori 800 mila ettari per conifere e latifoglie. La superficie richiesta sarebbe poco meno del 10% di quella stimata disponibile.

La produzione di 8 milioni di m³ permetterebbe di soddisfare il 15% del fabbisogno totale nazionale (53.52 milioni di m³) di legno, oppure l'80% di legname da opera (10.82 milioni di m³) o il 19% di quello da biomassa per uso energetico (42.70 milioni di m³). La durata dei turni previsti (8-15 anni), molto flessibili, permetterebbe di valutare, a seconda degli assortimenti richiesti dal mercato, quello più idoneo.

Disporre di una tale produzione di legno (8 milioni di m³) consentirebbe di ridurre di un uguale quantitativo i prelievi dalle nostre foreste e/o le importazioni dall'estero. Le superfici forestali non più interessate dai prelievi, di conseguenza, potrebbero essere avviate ad una gestione più efficiente in termini di accumulo e conservazione del C, oltre che di miglioramento e conservazione della biodiversità. Gestione che, come auspicato da Calfapietra et al. (2015), potrebbe essere indirizzata all'aumento delle provvigioni di fustaie o all'avviamento ad alto fusto di cedui. In altre parole, l'obiettivo sarebbe di aumentare l'efficienza al contrasto dei cambiamenti climatici di alcuni nostri popolamenti forestali migliorandone contemporaneamente il loro valore economico.

È inoltre importante sottolineare che l'impiego del refluo depurato con il sistema semplificato SI-UNIBAS eliminerebbe i costi per l'acquisto di acqua irrigua, nutrienti e sostanza organica. L'acqua irrigua oltre al costo, come già accennato, creerebbe conflittualità con le colture agricole irrigue. L'impiego di concimi chimici invece, oltre al costo economico, avrebbe un costo ambientale in contraddizione con la strategia di riduzione delle emissioni di CO₂ antropica in atmosfera. L'impiego del refluo eviterebbe l'emissione di circa 90 t di CO₂ in atmosfera all'anno, che si avrebbe invece se si intervenisse con la concimazione ureica.

Conclusioni

La realizzazione della filiera "refluo legno" è complessa ma non si prevedono grossi problemi nella sua realizzazione tecnico-pratica. Piuttosto, alcune problematiche possono sorgere da un punto di vista politico-organizzativo, il cui approfondimento non rientra però negli scopi di questo lavoro. Come precedentemente menzionato, i problemi politico-organizzativi riguardano la collaborazione tra i vari soggetti che vanno a comporre la filiera "refluo legno": industria del legno, imprese della depurazione, compagnie forestali, settore agricolo, amministrazioni locali e enti preposti alla gestione delle acque reflue.

In sintesi, gli enti pubblici preposti alla gestione delle ac-

que reflue in collaborazione con le imprese di depurazione dovrebbero attuare la trasformazione degli impianti esistenti secondo il sistema SI-UNIBAS e costruirne altri nuovi sempre con tale sistema. Le Amministrazioni locali, che hanno la responsabilità degli impianti di depurazione, in collaborazione con il settore agricolo dovrebbero altresì individuare i terreni per le piantagioni, mentre le compagnie forestali dovrebbero costituire e gestire le piantagioni e l'industria del legno dovrebbe impiegare il materiale legnoso prodotto.

In merito alla parte relativa alle piantagioni è doveroso sottolineare che in Italia non esistono compagnie forestali in grado di realizzare, gestire e probabilmente nemmeno utilizzare (taglio a fine turno) i soprassuoli con la metodologia descritta. In questo caso potrebbero essere coinvolte (almeno inizialmente) compagnie forestali che operano nella Penisola Iberica (alcune già presenti in Italia). Si tratta infatti di compagnie in grado di assicurare tutte le fasi del ciclo colturale, dal materiale genetico idoneo (cloni), la sua produzione, la piantagione, gli interventi colturali (irrigazione, concimazione, potature ecc.) fino al taglio finale. Nel caso specifico dell'uso del legno prodotto come legname da opera, si dovrebbe potenziare il settore della prima trasformazione (segherie) per ottenere semilavorati da legno grezzo.

Riguardo invece agli obiettivi del presente lavoro, i risultati ottenuti suggeriscono che esistono i presupposti per lo sviluppo di una filiera "refluo legno" in cui i reflui urbani, depurati secondo il sistema SI-UNIBAS e usati nella fertirrigazione di piantagioni, diventerebbero una risorsa in grado di garantire elevate e costanti produzioni legnose. Ciò assicurerebbe una serie di vantaggi sul piano economico e ambientale: (i) la riduzione fino al 50% dei costi di trattamento dei reflui, nei confronti del sistema tradizionale a fanghi attivi, e altrettanto in termini di emissione di CO₂ in atmosfera; (ii) elevate e costanti produzioni legnose di eucalitto nel tempo (8 milioni m³ anno) in tempi brevi (turni 8-15 anni) su superfici limitate (circa 400 mila ha), da impiegare nell'industria del legno e/o come biomassa per uso energetico; (iii) un risparmio sul costo per l'acquisto di acqua irrigua, concimi o sostanza organica per la produzione legnosa, mantenendo al contempo la fertilità dei suoli; (iv) un risparmio sull'uso di concimi chimici e quindi nessuna immissione di CO₂ nell'atmosfera per la loro produzione industriale (nel caso dell'N, sotto forma ureica, risparmio di circa 90 t anno⁻¹ di CO₂); (v) un minor prelievo dalle foreste nazionali e/o una minore importazione di legno dall'estero per quantitativi corrispondenti a quelli prodotti con le piantagioni di eucalitto; (vi) la possibilità di gestire quella parte di foreste non più sottoposte a prelievo in modo più efficiente in termini di assorbimento e conservazione della CO₂ atmosferica e di conservazione della biodiversità.

Dal momento che il modello colturale descritto in questo lavoro è al momento un'ipotesi, sarebbe opportuna una verifica operativa attraverso un progetto pilota da realizzare in situazioni rappresentative delle condizioni pedoclimatiche e socio economiche dell'Italia centro meridionale. Sulla base ai risultati ottenuti e risolte eventuali criticità non previste, sarebbe infine possibile l'implementazione del modello colturale su larga scala con un progetto a livello nazionale.

Bibliografia

Agricoltura News (2016). In Sardegna più di 150 ettari di colture energetiche. Web site. [online] URL: <http://www.agricoltura-news.it/in-sardegna-piu-di-150-ettari-di-culture-energetiche>

Berti S, Brunetti M, Macchioni N (2000). Physical and mechanical characterization of Italian grown Eucalypts. In: Proceedings of International Conference "Eucalyptus in the Mediterranean Basin: Perspectives and New Utilisation". Taormina (CT, Italy)

15-19 Oct 2000.

- Brunori A, Nair PKR, Rockwood DL (1995). Performance of two eucalyptus species at different slope positions and aspect in a contour-ridge planting system in the Neghev Desert of Israel. *Forest Ecology and Management* 75: 41-48. - doi: [10.1016/0378-1127\(95\)03540-Q](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03540-Q)
- Calfapietra C, Barbati A, Perugini L, Ferrari B, Guidolotti G, Quatrini A, Corona P (2015). Carbon mitigation potential of different forest ecosystems under climate change and various managements in Italy. *Ecosystem Health and Sustainability* 1 (8): 1-9. - doi: [10.1890/EHS15-0023](https://doi.org/10.1890/EHS15-0023)
- Caniani D, Caivano M, Pascale R, Bianco G, Mancini IM, Masi Mazzone S G, Firouzian M, Rosso D (2019). CO₂ and N₂O from water resource recovery facilities: evaluation of emissions from biological treatment, settling, disinfection, and receiving water body. *Science of the Total Environment* 648: 1130-1140. - doi: [10.1016/j.scitotenv.2018.08.150](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.150)
- Castro G, Paganini F (2003). Mixed glued laminated timber of poplar and *Eucalyptus grandis* clones. *Holz als Roh- und Werkstoff* 61 (2003) 291-298. - doi: [10.1007/s00107-003-0393-6](https://doi.org/10.1007/s00107-003-0393-6)
- Colodette JL, Gomes CM, Gomes FJ, Cabral CP (2014). The Brazilian wood biomass supply and utilization focusing on eucalypt. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 1 (1): 125. - doi: [10.1186/s40538-014-0025-x](https://doi.org/10.1186/s40538-014-0025-x)
- Commissione Europea (2019). Pacchetto infrazioni di marzo: decisioni principali. Scheda informativa, Commissione Europea, Bruxelles. [online] URL: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-1475_it.htm
- Dimitriou I, Aronsson P (2005). Willows for energy and phytoremediation in Sweden. *UnaSilva* 221 (56). - [online] URL: <http://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.5870&rep=rep1&type=pdf>
- Evet ST, Zalesny RS, Kandil NF, Stanturf JA, Soriano C (2011). Opportunities for woody crop production using treated wastewater in Egypt. II. Irrigation Strategies. *International Journal of Phytoremediation* 13: 122-139. - doi: [10.1080/15226514.2011.568548](https://doi.org/10.1080/15226514.2011.568548)
- Fernández Martínez M, Alaejos Gutiérrez J, Andivia Muñoz E, García Albalá J, Tapias Martín R (2016). Efecto del riego y la fertilización en el crecimiento de *Eucalyptus x urograndis* como cultivo energético en Huelva. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales* 42: 91-102. - doi: [10.31167/csef.voi42.17425](https://doi.org/10.31167/csef.voi42.17425)
- Gonzalez-Garcia M, Hevia A, Majada J, Rubiera F, Barrio-Anta M (2015). Nutritional, carbon and energy evaluation of *Eucalyptus nitens* short rotation bioenergy plantations in northwestern Spain. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 9 (2): 303-310. - doi: [10.3832/ifer1505-008](https://doi.org/10.3832/ifer1505-008)
- ISTAT (2017). Anno 2015. Censimento delle acque per uso civile. Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, Roma. [online] URL: <http://www.istat.it>
- Jimenez E, Vega JA, Pérez-Gorostiaga P, Fonturbel T, Cuinas P, Fernández C (2007). Evaluación de la transpiración de *Eucalyptus globulus* mediante densidad de flujo de savia y su relación con variables meteorológicas i dendrométricas. *Boletín del CIDEU* 3: 119-138.
- JRC (2015). Wood resource balances of EU-28 and member states. JRC-European Commission, Ispra (VA). [online] URL: <http://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/wood-resource-balances>
- Laclau JP, Bouillet JP, Ranger J (2000). Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. *Forest Ecology and Management* 128 (3): 181-196. - doi: [10.1016/S0378-1127\(99\)00146-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00146-2)
- Laclau JP, Deleporte P, Ranger J, Bouillet JP, Kazotti G (2003). Nutrient dynamics throughout the rotation of *Eucalyptus* clonal stands in Congo. *Annals of Botany* 91: 879-892. - doi: [10.1093/aob/mcg093](https://doi.org/10.1093/aob/mcg093)
- Lopez A, Pollice A, Lonigro A, Masi S, Palese AM, Cirelli GL, Toscano A, Passino R (2016). Agricultural wastewater reuse in southern Italy. *Desalination* 187: 323-334. - doi: [10.1016/j.desal.2016.05.010](https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.05.010)

005.04.091

- Martin B (2003). L'Eucalyptus: un arbre forestier strategique. Revue Forestiere Francaise 55 (2): 141-154. - doi: [10.4267/2042/5165](https://doi.org/10.4267/2042/5165)
- Masi S, Cantiani D, Mancini IM, Trulli E, Lavinia C (2008). Rimozione selettiva di sostanza organica da acque reflue attraverso uno schema a fanghi attivi modificato: modellazione e valutazione economica. In: "International Symposium of Sanitary and Environmental Engineering". Firenze 24-27 Giugno 2008.
- McMahon L, George B, Hean R (2010). *Eucalyptus camaldulensis*. Primefact 1054, pp. 6. [online] URL: http://www.doc-development-durable.org/file/Culture/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES_ARBRES/Eucalyptuscaldulensis/eucalyptuscaldulensis.pdf
- Mughini G (1991). Comportamento di alcune specie di eucalitto in tre prove in Italia meridionale. Cellulosa e Carta 42 (6): 2-7.
- Mughini G (2001). Cloni di *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden per la produzione di legname di qualità: risultati di una prova di selezione. Sherwood 72, anno 7.
- Mughini G, Gras M, Salvati L (2014). Growth performance of selected eucalypt hybrid clones for SRWC in central and southern Italy. Annals of Silvicultural Research 38 (1): 7-12. - doi: [10.12899/asr-847](https://doi.org/10.12899/asr-847)
- Mughini G (2016). Suggestimenti per una eucalitticoltura clonale sostenibile nelle aree a clima mediterraneo dell'Italia centro-meridionale. Forest@ 13: 47-58. - doi: [10.3832/efor2059-013](https://doi.org/10.3832/efor2059-013)
- Myers BJ, Bond WJ, Benyon RG, Falkiner RA, Polglase PJ, Smith CJ, Snow VO, Theiveyanathan S (1999). Sustainable effluent-irrigated plantations. An Australian guideline. CSIRO Forestry and Forest Products, Melbourne, Australia.
- Novaes RF (1996). Aspectos nutricionais e ambientais do Eucalipto. Revista Silvicultura 68: 10-17.
- Palese AM, Pasquale V, Celano G, Figliuolo G, Masi S, Xiloyannis C (2009). Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipal wastewater: effects on microbiological quality of soil and fruits. Agriculture, Ecosystems and Environment 129: 43-51. - doi: [10.1016/j.agee.2008.07.003](https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.07.003)
- Prinz D (2001). Water harvesting for afforestation in dry areas. In: Proceedings of the "10th International Conference on Rainwater Catchment Systems". Mannheim (Germany) 10-14 Sep 2001, pp. 195-198.
- Rockwood DL, Naidu CV, Carter DR, Rahmani M, Spriggs TA, Lin C, Alker GR, Isebrands JG, Segrest SA (2004). Short-rotation woody crops and phytoremediation: opportunities for agroforestry? Agroforestry Systems 61: 51-63. - doi: [10.1007/978-94-017-2424-1_4](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_4)
- Viccaro A, Cozzi M, Caniani D, Masi S, Mancini IM, Caivano M (2017). Wastewater reuse: an economic perspective to identify suitable areas for poplar vegetation filter systems for energy production. Sustainability 9 (12): 2161. - doi: [10.3390/su9122161](https://doi.org/10.3390/su9122161)