

Lucio Cecchini, Massimo Chiorri, Antonio Pierri, Biancamaria Torquati

Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, University of Perugia, Italy

E-mail: lucio.cecchini@unipg.it, massimo.chiorri@unipg.it, antonio.pierri@unipg.it, bianca.torquati@unipg.it

Keywords: Traditional landscape, Functional integrity, Gross farm income, Multi-objective programming, Extra-virgin olive oil

Parole chiave: Paesaggio tradizionale, Integrità funzionale, Reddito lordo aziendale, Programmazione multi-obiettivo, Olio extra vergine d'oliva
JEL codes: Q12, Q15, Q18

Olivicoltura tradizionale fra intensivizzazione e paesaggio: un modello di programmazione matematica multiobiettivo a numeri interi*

Focusing on olive oil sector in central Italy, this paper proposes a decision support system for olive growers in order to: i) identify the optimal crop management in the hypothesis of maximizing gross farm income and maximizing a landscape integrity index; ii) simulate the effects of different policy and market scenarios.

Results from multi-objective integer optimization models showed that the solution obtained by maximizing the gross income foresees the intensive crop management and the complete allocation of the farm area to newly planted olive groves. The traditional crop management is chosen when the landscape integrity index is maximized. However, only a 30% increase of the Extra Virgin Olive Oil price from ancient and traditionally managed olive groves could ensure their complete maintenance.

1. Introduzione

L'Olio extra-vergine di oliva (EVO) costituisce una delle principali colture agricole per i paesi dell'area del Sud Europa, sia in termini di Superficie Agricola Utilizzata (SAU) che di reddito (Owen *et al.*, 2000; Marchini *et al.*, 2010), nonché uno degli alimenti alla base della dieta mediterranea. Anche grazie ai numerosi studi compiuti circa le sue proprietà funzionali e benefiche per la salute umana, l'olio EVO ha registrato negli ultimi anni una crescente popolarità in paesi come Stati Uniti, Canada, Australia e Cina, in cui si è assistito ad un importante incremento dei consumi (Consiglio Oleicolo Internazionale, 2018). Tutto ciò ha spinto verso una sostanziale intensivizzazione del processo produttivo, che garantisca, attraverso una razionalizzazione delle tecniche produttive ad alta intensità di capitale, l'ottenimento di più alte rese contemporaneamente ad un miglior livello qualitativo sia dal punto di vista organolettico che funzionale.

Dall'altra parte, gli effetti sempre più incisivi dei cambiamenti climatici sulle produzioni olivicole hanno determinato crescenti rischi in termini di produttività e performances economiche, su cui pesano, oltre alle minori rese unitarie, i maggiori costi di produzione legati all'utilizzo sempre più diffuso e frequente di mezzi di difesa fitosanitaria per la salvaguardia delle produzioni (Proietti, 2018).

* The authors wish to thank the two anonymous Referees for their suggestion.

La complessità di tale contesto ha originato due fenomeni distinti che sembrano tuttavia convergere in termini di effetti sul paesaggio agrario: da un lato, un aumento in termini di superficie di oliveti condotti con tecniche di coltivazione intensive, che prevedono sesti di impianto regolari o a filare, elevato livello di meccanizzazione e basso impiego di lavoro; dall'altro la progressiva tendenza all'abbandono degli oliveti tradizionali tipici dei paesaggi agrari del centro-Italia, la cui minor produttività e limitata possibilità di meccanizzazione ne rendono spesso scarsamente conveniente la coltivazione (Agnoletti *et al.*, 2015; Ferro-Vázquez *et al.*, 2017; Fukamachi, 2017; Torquati *et al.*, 2015; Torquati *et al.*, 2018).

Gli effetti congiunti di tali processi hanno indotto profondi mutamenti nella struttura dei paesaggi olivicoli tradizionali, che hanno visto progressivamente perdere i propri tratti identificativi e caratteristici, fra cui la presenza di muretti a secco o l'adozione della tipica forma di allevamento a vaso, sostituiti da sistemi di allevamento più intensivi oppure deteriorati dall'assenza di manutenzione (Torquati *et al.*, 2018).

L'obiettivo del presente lavoro è quello di confrontare la convenienza economica e gli effetti in termini paesaggistici dell'adozione di diverse alternative di management culturale. L'analisi ha preso in esame un'area del Centro Italia ed in particolare la fascia olivata di collina che si estende, in Provincia di Perugia all'interno della Regione Umbria, dal comune di Assisi fino al comune di Spoleto. La fascia olivata Assisi-Spoleto si estende per oltre 40 chilometri inglobando circa 4.600 ettari ad oliveto, di cui 1.400 gradonati, e quasi 1.500.000 piante di olivo. Gli oliveti si trovano ad altitudini comprese tra i 200 e i 600 m s.l.m. e parte delle aree occupate sono soggette a vincolo (leggi 1497/39 e 431/85). L'area considerata, che conta circa 4.000 aziende olivicole, oltre a rivestire un'importanza strategica per tutto il comparto agricolo regionale sotto il profilo delle potenzialità produttive, assume anche una forte valenza paesaggistica che, più che altrove, esprime la diversità dei paesaggi storici umbri derivante dalla storia delle comunità residenti. Gli oliveti che ricoprono tale fascia olivata non lasciano spazio alla coltura promiscua e rendono unico questo paesaggio, caratterizzato da piantagioni che assumono l'aspetto fitto e continuativo che si può osservare percorrendo la valle. Questo è uno dei motivi per cui nel 2018 l'area è stata inserita nel "Registro nazionale dei paesaggi rurali di interesse storico, delle pratiche agricole e delle conoscenze tradizionali" dal Ministero delle Politiche Agricole e Alimentari, ed ottenuto il riconoscimento di paesaggio di importanza agricola mondiale GIAHS (Globally Important Agricultural Heritage Systems).

Nello stesso tempo presenta, tuttavia, numerose criticità legate agli aspetti gestionali e alla salvaguardia dei livelli di redditività delle imprese locali, a cui corre prestare attenzione al fine trovare soluzioni in grado di ridurre al minimo il rischio di abbandono di tali attività, e limitare le conseguenze negative ad esso connesse.

Negli ultimi decenni, numerosi strumenti di supporto alle decisioni delle imprese agricole sono stati proposti nell'ottica di ottimizzare la gestione aziendale con riferimento alla scelta dei piani colturali, alla gestione della pratica irrigua e alla riduzione degli impatti ambientali.

La maggior parte dei modelli di simulazione si basa su tecniche di programmazione matematica che consentono di ottimizzare un risultato (funzione obiettivo) all'interno di un contesto particolare (come massimizzare il reddito o minimizzare i costi), soggetto a vincoli rispetto alle risorse disponibili nel sistema produttivo considerato. (Chang e Ko, 2014; Oudshoorn *et al.*, 2011; Van Calker *et al.*, 2006; Van Calker *et al.*, 2008). Relativamente al comparto agricolo, numerosi esempi di applicazione sono rinvenibili in letteratura con approcci che vanno da quello tradizionale, di natura "normativa" che prevede una funzione lineare ad obiettivo singolo o multi-obiettivo (Annetts e Audsley, 2002), a modelli più complessi con riferimento all'utilizzo di formulazioni non lineari nella funzione obiettivo e nei vincoli (Aljanabi *et al.*, 2018), all'inclusione dell'incertezza mediante l'introduzione di parametri stocastici (Dono *et al.*, 2016), nonché all'utilizzo di approcci di natura "positiva" o che includano più obiettivi (Heckeley *et al.*, 2012). A questo proposito, tra le tecniche di programmazione matematica, la programmazione multi-obiettivo (MOP) è stata ampiamente utilizzata per ottimizzare contemporaneamente due o più obiettivi conflittuali soggetti a determinati vincoli. In letteratura sono presenti numerosi esempi di applicazione, riguardanti diversi settori produttivi, in contesti dove sia richiesto di individuare scelte di "best compromise" tra due o più obiettivi contrastanti (Fasakhodi *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2017; Stancu-Minasian, 1999). Con specifico riferimento al settore olivicolo, Fleskens e De Graaff (2010) hanno adottato un modello di programmazione lineare ad obiettivo singolo al fine di massimizzare il reddito lordo di aziende olivicole portoghesi, condizionato al rispetto di alcuni vincoli legati sia a fattori interni aziendali che di contesto, nell'ottica di valutare gli effetti di misure di sostegno pubblico (partecipazione a misure di protezione ambientale e rispetto della condizionalità), rispetto a una serie di obiettivi ambientali, economici, sociali e culturali. Nello stesso lavoro, un modello di MOP basato sulla Goal Programming (Romero, 1990) è stato implementato al fine di ottimizzare simultaneamente gli obiettivi conflittuali suddetti e stimarne i relativi trade-offs.

In generale, un problema di programmazione multi-obiettivo non consente infatti di identificare un'unica soluzione che minimizzi o massimizzi simultaneamente ogni obiettivo fino al raggiungimento del suo livello di ottimo, ma è volta ad individuare un insieme di soluzioni Pareto ottimali o "feasible", tali che l'incremento nel valore di un obiettivo possa esser raggiunto solo a scapito del valore di almeno un altro obiettivo. La scelta della soluzione di best compromise all'interno dell'insieme di compromesso rappresenta dunque la soluzione al problema di ottimizzazione multi-obiettivo (Zhang *et al.*, 2015).

In questa prospettiva, coerentemente con gli obiettivi sopra illustrati, nel presente lavoro è stato adottato un modello di programmazione matematica multi-obiettivo a numeri interi al fine di identificare la scelta ottima di management colturale dell'azienda nelle ipotesi di massimizzazione del reddito lordo aziendale (Obiettivo 1), da una parte, e di massimizzazione dell'indice di integrità funzionale relativo alla conservazione del paesaggio (Obiettivo 2), dall'altra.

La scelta del modello a numeri interi è pertanto giustificata dalla necessità di ottimizzare la scelta tra alternative discrete (Clímaco *et al.*, 1997), rappresentate da:

i) adozione del sistema di coltivazione tradizionale, che prevede il ricorso a soluzioni produttive volte a preservare il paesaggio olivicolo tradizionale; ii) adozione del sistema di coltivazione intensivo, in cui sono adottate tecniche che mirano a massimizzare le rese produttive a discapito della conservazione del paesaggio. Per ciascuno dei due sistemi di coltivazione suddetti, il modello ha considerato le seguenti possibili strategie: i) mantenimento degli oliveti di vecchio impianto; ii) realizzazione di oliveti di nuovo impianto; iii) abbandono ed assenza di coltivazione.

Relativamente all'obiettivo 2, sembra utile chiarire fin d'ora che la definizione di integrità funzionale adottata nel presente lavoro è quella contenuta in Antognelli e Vizzari (2017), secondo cui essa rappresenta la potenziale capacità del paesaggio di offrire la "funzione culturale", intesa come la combinazione di quattro diverse funzioni individuate sulla base della classificazione Common European Classification of Ecosystem Services (CICES) (Haynes-Young e Potschin, 2013). In particolare: funzione educativa, che esprime la capacità di incrementare la conoscenza della natura e della storia; funzione estetica, che esprime la capacità degli elementi paesaggistici di determinare la qualità visiva del paesaggio; funzione ricreativa, che sottolinea la possibilità di mettere a disposizione spazi per il tempo libero; funzione simbolica, che implica la capacità di rappresentare un simbolo o un oggetto identitario per un gruppo di persone.

L'indicatore di integrità funzionale adottato al fine di esprimere l'obiettivo di conservazione del paesaggio, è stato calcolato adattando la metodologia proposta da Antognelli e Vizzari (2017), mediante un approccio multi-criteria a due stadi, che ha previsto il coinvolgimento di un panel di 10 esperti locali. Il primo stadio ha previsto una valutazione qualitativa delle diverse alternative e strategie, espressa su una scala Likert, rispetto alle quattro funzioni considerate; nel secondo stadio, è stata utilizzata l'analisi gerarchica (Saaty, 1977) al fine di determinare l'integrità funzionale complessiva. La massimizzazione dell'obiettivo 2 è stata vincolata al raggiungimento di un reddito lordo minimo tale da assicurare la copertura dei costi fissi aziendali. La scelta di vincolare il reddito lordo a coprire unicamente i costi fissi aziendali (che includono, rispettivamente per singolo management culturale, la parte fissa delle quote di manutenzione, le quote di assicurazione e le spese di natura generale), ad esclusione degli interessi sul capitale d'esercizio e delle imposte e tasse, è motivata dal fatto che la tipologia ordinaria di conduzione delle aziende olivicole nell'area di studio è la conduzione diretta del proprietario coltivatore con prevalenza di manodopera familiare. Per questa ragione, non rappresentando gli interessi una voce di costo esplicito (è l'imprenditore ad apportare il capitale di esercizio) ed essendo l'incidenza degli oneri fiscali calcolata sul reddito dominicale e agrario trascurabile, tali componenti non sono stati considerati a tale riguardo. A questo proposito, un approccio equivalente viene adottato anche nel lavoro di Cembalo *et al.* (1998), in cui un modello empirico simile a quello qui proposto viene implementato al fine di valutare la convenienza economica della conversione all'agricoltura biologica in aziende campane.

Vista la natura conflittuale dei due obiettivi considerati, tale modello ha consentito di simulare altresì l'effetto di scenari politici ed economici sulle scelte imprenditoriali.

2. Materiali e metodi

Il modello proposto è stato applicato ad una azienda olivicola tipo del Comune di Trevi, uno dei Comuni della fascia olivata Assisi-Spoleto, con una superficie agricola utilizzata (SAU) di 7 ha occupati da un oliveto di vecchio impianto con età media delle piante di 80 anni, caratterizzato da un sesto di impianto irregolare con densità di circa 400 piante ad ha, allevamento delle piante a vaso, presenza di cultivar locali, presenza di muretti a secco. L'oliveto è attualmente gestito con un sistema di coltivazione tradizionale che, facendo ricorso ad attività colturali prevalentemente manuali, preserva il paesaggio olivicolo tradizionale.

Fra le possibili alternative di management colturale mutualmente esclusive, il modello ha considerato: 1) il management tradizionale, attualmente praticato, che prevede appunto il ricorso a tecniche produttive prevalentemente manuali, con limitato livello di meccanizzazione e forme di allevamento a vaso; 2) il management intensivo, che prevede un più elevato livello di meccanizzazione, forme di allevamento tese a massimizzare la produttività, consentendo sia incrementi in termini di rese unitarie che riduzione dei costi per unità di prodotto, a discapito tuttavia dell'integrità del paesaggio.

Con riferimento all'allocazione ottimale della SAU disponibile, nel modello, sono state prese in considerazione tre possibili attività (strategie): i) mantenimento degli oliveti di vecchio impianto; ii) realizzazione di oliveti di nuovo impianto; iii) abbandono ed assenza di coltivazione. Per gli oliveti di vecchio impianto, il management colturale tradizionale e intensivo differiscono per l'assenza di muretti a secco, la forma di allevamento tesa a massimizzare la produttività e il maggior ricorso alla meccanizzazione per potatura e raccolta, nel caso del management intensivo. Per gli oliveti di nuovo impianto si rilevano differenze ancor più significative, in quanto il management intensivo prevede sistemi di allevamento ad elevata densità, impiego di cultivar ad elevata produttività non autoctone e completa meccanizzazione della gestione colturale; in quello tradizionale sono invece adottati sestri di impianto tradizionali (5x5 m), cultivar locali e forme di allevamento a vaso. La strategia "abbandono" non presenta, evidentemente, differenze nei due management colturali considerati. La raccolta dei dati tecnici ed economici necessari all'implementazione del modello, riferiti all'anno 2016, è avvenuta nell'anno 2017 tramite intervista diretta ad un campione di comodo di 10 aziende olivicole dell'area di studio, rappresentative dei diversi sistemi di management considerati; ove non disponibili tali dati sono stati desunti da studi precedenti (Chiorri e De Gennaro, 2012).

Relativamente al lavoro, nell'azienda olivicola tipo sono disponibili 0,8 Unità lavorativa uomo (Ulu), che corrispondono ad una disponibilità media di 120 ore al mese. Sulla base dei coefficienti tecnici riportati in tabella 1, il modello prevede la possibilità di ricorrere all'impiego di manodopera avventizia, al costo orario di 9,5 Euro, ogni qualvolta quella aziendale non sia in grado di soddisfare il fabbisogno di manodopera.

In tabella 2 sono contenute le rese unitarie medie annue, in condizioni di ordinarietà, per i diversi management e tipologie di oliveti. Tali rese, espresse in kg

Tabella 1. Coefficienti tecnici del fattore lavoro (ore/ha).

	Vecchio impianto		Nuovo impianto		Abbandono
	Intensivo	Tradizionale	Intensivo	Tradizionale	
GEN	0	4	0	2	0
FEB	12	16	6	14	0
MAR	12	16	6	14	0
APR	13	16	8	14	2
MAG	3	8	2	8	0
GIU	0	0	0	0	2
LUG	2	2	4	2	0
AGO	2	2	4	2	0
SET	0	0	0	0	0
OTT	87.5	60	35	50	0
NOV	87.5	60	0	50	0
DIC	0	0	0	0	0

Fonte: elaborazione propria sulla base dei dati raccolti mediante indagine diretta degli autori.

di olio ad ha ed ipotizzando una resa di trasformazione media pari al 15%, sono inferiori per gli oliveti gestiti con metodo tradizionale, sia nel caso dei nuovi impianti, che nel caso dei vecchi impianti, per i quali si considera una produzione quattro volte superiore nel caso di oliveti gestiti con metodo intensivo rispetto a quelli tradizionali. La resa è evidentemente nulla nel caso di abbandono e assenza di coltivazione.

Si precisa che ai fini del presente lavoro, essendo l'azienda tipo inserita in un sistema arboreo specializzato, la cui destinazione olivicola risulta l'unica possibile e tale da potersi considerare illimitata nel tempo viste le peculiari caratteristiche morfologiche, per analogia con i procedimenti di stima analitica degli arboreti in zone specializzate, che prevedono la capitalizzazione di redditi annui medi costanti, vengono ipotizzati rese e quindi ricavi medi annui costanti (Gallerani, 2004). La medesima assunzione è fatta in relazione ai costi variabili di produzione, rispetto a cui non sono ipotizzabili mutamenti significativi, nel medio periodo, dovuti ad evoluzioni delle tecniche di produzione già descritte per singola tipologia di management.

Tali ipotesi vengono ulteriormente suffragate dal fatto che gli oliveti si caratterizzano per avere un ciclo di lunga o lunghissima durata, nel quale la fase stazionaria di piena produzione risulta largamente predominante rispetto alle fasi di impianto e accrescimento, a differenza di altre colture arboree a ciclo più breve.

Nella tabella 3 sono riportati i prezzi di vendita al dettaglio dell'olio per tipologia di impianto e management colturale: i valori utilizzati sono quelli medi, dell'olio DOP Umbria Colli Assisi-Spoleto (Camera di Commercio di Perugia, 2016)

Tabella 2. Resa media in fase di piena produzione per tipologia di oliveti e management culturale (Kg di olio/ha).

	Vecchio impianto	Nuovo impianto	Abbandono
Intensivo	450	1100	0
Tradizionale	273	735	0

Fonte: elaborazione propria sulla base dei dati raccolti mediante indagine diretta degli autori.

Tabella 3. Prezzi di vendita dell'olio (Euro/kg di olio).

	Vecchio impianto	Nuovo impianto
Intensivo	10	7
Tradizionale	14	10

Fonte: Camera di Commercio di Perugia (2016), indagine diretta degli autori.

per quanto riguarda l'olio EVO prodotto con management culturale tradizionale e quello proveniente da vecchi impianti condotti con management intensivo; relativamente all'olio EVO proveniente da nuovi impianti di tipo intensivo, è stato considerato il prezzo medio di riferimento dell'olio EVO in Umbria nel 2016 (Camera di Commercio di Perugia, 2016).

Relativamente all'olio proveniente da vecchi impianti gestiti con metodo tradizionale, è emerso, dall'indagine effettuata presso le aziende coinvolte, un prezzo di mercato al dettaglio maggiore rispetto a quello delle altre tipologie di coltivazione oscillante da un +40% ad un +100%. La causa principale di tale variabilità è da rintracciarsi nel fatto che essendo i vecchi impianti, gestiti con metodo tradizionale scarsamente produttivi, come già ricordato, i volumi di prodotto da essi derivanti sono contenuti, e pertanto le aziende che li conducono riescono più facilmente a vendere il prodotto al consumatore finale a prezzi mediamente più elevati, attraverso canali di filiera corta (punti vendita aziendali, agriturismi, mercati locali).

Con riferimento ai sussidi comunitari, non essendo previste specifiche misure a sostegno delle tecniche di produzioni tradizionali, si sono considerati solo i sostegni accoppiati previsti per le superfici olivicole che aderiscono a sistemi di qualità (DOP Umbria nel caso di studio), pari a 155,67 Euro/ha per tutte le tipologie di impianto e metodi di coltivazione, ai sensi dell'art. 52 del Reg. UE 1307/2013.

Nella tabella 4 sono contenuti gli indicatori di integrità funzionale (IIF) riferiti ad 1 ha per management culturale e tipologia di coltivazione. Tali indicatori, come già indicato nell'introduzione, sono stati calcolati mediante l'applicazione di un modello multi-criterio a due stadi, ai dati derivanti dalla somministrazione di un questionario strutturato ad un panel di 10 esperti del paesaggio locale, con competenze in diverse discipline (ecologia, storia e arti locali e agronomia). In particolare, nel primo stadio è stata effettuata una valutazione qualitativa dell'integrità fun-

Tabella 4. Indice di integrità funzionale per tipologia di oliveti e management colturale riferito all'unità di superficie (ha).

	Vecchio impianto	Nuovo impianto	Abbandono
Intensivo	3	1	0.3
Tradizionale	5	3	0.3

Fonte: elaborazione degli autori sulla base della metodologia proposta in Antognelli e Vizzari, (2017).

zionale, espressa su una scala Likert a 5 punti e riferita ad 1 ha di superficie, per ciascun sistema di coltivazione e tipologia di oliveto, rispetto alle quattro funzioni considerate (educativa, estetica, ricreativa, simbolica). Nel secondo stadio, l'analisi gerarchica è stata utilizzata al fine di determinare l'importanza relativa (pesi) delle singole funzioni rispetto all'integrità funzionale complessiva (goal). In particolare, quattro matrici di confronto a coppie (Saaty, 1977), una per ciascuna funzione, sono state compilate singolarmente da ciascun esperto. La consistenza delle matrici è stata preliminarmente verificata mediante il calcolo del Consistency Ratio (Saaty, 1977) e sulla base dei giudizi espressi è stato calcolato il vettori dei pesi assoluti, ottenuto come media dei pesi calcolati per ciascun esperto.

Sulla base dei pesi assoluti, le medie dei punteggi assegnati nel primo stadio dagli esperti sono state aggregate gerarchicamente mediante media pesata, al fine di calcolare l'integrità specifica della singola funzione e quindi l'integrità funzionale globale utilizzata ai fini della massimizzazione dell'Obiettivo 2.

Il valore più elevato (5) è stato attribuito agli oliveti di vecchio impianto coltivati con metodo tradizionale, mentre il valore minimo è stato associato all'assenza di coltivazione, cui corrisponde una integrità funzionale di valore 0.3, assimilata a quella del bosco.

Più specificatamente, il modello ha considerato i due obiettivi suddetti come attributi della funzione S oggetto del seguente problema di massimizzazione:

$$\text{Max } S = f(\text{OB1}, \text{OB2}) \quad (1)$$

dove:

OB1: massimizzazione del reddito lordo (RL)

$$\text{Max RL} = \sum_i \sum_j (R_{ij} \cdot X_{ij} - CV_{ij} \cdot X_{ij} - CF_{i=\text{olivetinuoovimpianto},j} \cdot X_{i=\text{olivetinuoovimpianto},j}) \quad (2)$$

OB2: massimizzazione dell'indice di integrità funzionale (IIF)

$$\text{Max IIF} = \sum_i \sum_j PQ_{ij} \cdot X_{ij} \quad (3)$$

s.t.

$$\sum_i \sum_j a_{mij} \cdot X_{ij} \leq b_m \quad \forall m \in M \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ij} - M \cdot Y_j = 0 \quad (5)$$

$$\sum_i Y_j \leq 1 \quad (6)$$

$$Y_j = 0 \text{ o } 1 \quad (7)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (8)$$

dove: j è l'indice relativo alle due possibili scelte di management colturale (intensivo, tradizionale), i è l'indice delle strategie (oliveti di vecchio impianto, oliveti di nuovo impianto, abbandono); R_{ij} è il ricavo unitario annuo medio ad ha della i -esima attività nel j -esimo management colturale, X_{ij} è l'ammontare di terra allocata all' i -esima attività nel j -esimo management colturale, CV_{ij} è il costo unitario medio annuo di produzione variabile dell' i -esima attività nel j -esimo management colturale, che include tutte le spese associate all'impiego di fattori a fecondità semplice e la componente variabile delle quote di manutenzione; $CF_{i=\text{oliveti di nuovo impianto } j}$ è la quota annuale legata al costo di impianto, computata nel caso dei nuovi impianti, ipotizzando una durata dell'impianto pari a 20 anni e 40 anni, nel caso rispettivamente del management intensivo e tradizionale (nel caso dei vecchi impianti tale componente non è stata considerata, vista la loro maggior durata, ed in considerazione del fatto che i vecchi impianti presentano ordinariamente un'età avanzata, nell'area di studio, tale per cui il ciclo di ammortamento possa considerarsi concluso), PQ_{ij} è il coefficiente tecnico di integrità funzionale della i -esima attività nel j -esimo management colturale, a_{mij} è il coefficiente tecnico associato all'utilizzo della m -esima risorsa per ciascuna attività e management colturale, b_m corrisponde all'ammontare della j -esima risorsa disponibile, M è uno scalare sufficientemente grande affinché sia soddisfatto il relativo vincolo, Y_j indica le variabili binarie corrispondenti al j -esimo management colturale che consentono la mutua esclusività dell'adozione di uno dei due management considerati. Il vincolo 4 assicura che l'impiego della m -esima risorsa non ecceda la sua disponibilità massima, i vincoli 5, 6 e 7 insieme inducono la scelta discriminante e mutualmente esclusiva tra il sistema di coltivazione intensivo e il sistema di coltivazione tradizionale. Il vincolo 8 è un vincolo di non negatività legato all'ammontare di terra allocata all' i -esima attività nel j -esimo management colturale.

3. Risultati

Il modello descritto nel paragrafo precedente è stato risolto mediante l'utilizzo del software GAMS, procedendo alla ottimizzazione separata dei due obiettivi considerati.

Si sono testati e confrontati due diversi scenari: il primo prevede un premio di prezzo pari al 30% legato all'introduzione di una certificazione paesaggistica per

Tabella 5. Soluzioni ottimali ottenute dalle massimizzazioni degli obiettivi considerati.

	Max RL			Max IIF (con copertura dei costi fissi)		
	Con incremento del 30% del prezzo olio con certificazione paesaggistica		Senza incremento (baseline)	Con incremento del 30% del prezzo olio con certificazione paesaggistica		Senza incremento (baseline)
	Senza sussidio	Con sussidio di 1.500 Euro/ha				
Management colturale	Intensivo	Tradizionale	Intensivo	Tradizionale	Tradizionale	
Oliveto nuovo impianto (Ha)	7	0	7	0	0.44	
Oliveto vecchio impianto (Ha)	0	7	0	7	6.56	
Reddito lordo aziendale (Euro)	23.702	25.116	23.702	14.616	7.000	
Integrità funzionale	7	35	7	35	34.12	

l'olio prodotto dai vecchi impianti coltivati con metodo tradizionale che presentano integrità funzionale più elevata, mentre il secondo costituisce la baseline basata sui prezzi di mercato rilevati (Tab.3). Non essendo stati rinvenuti in letteratura studi specifici che abbiano quantificato la disponibilità a pagare (DAP) dei consumatori per tale certificazione, il premio di prezzo ipotizzato è stato determinato, per analogia, sulla base delle DAP medie per certificazioni aventi ad oggetto attributi relativi alla sostenibilità ambientale, riportate in Cecchini *et al.* (2017).

Nella tabella 5 vengono riportati in due sezioni separate le soluzioni ottimali ottenute, rispettivamente massimizzando il reddito lordo aziendale nella prima sezione, e massimizzando l'indice di integrità funzionale nella seconda sezione.

In linea con le aspettative, la soluzione ottenuta massimizzando il reddito lordo prevede il management intensivo e l'allocazione completa della SAU aziendale ad oliveti di nuovo impianto, in cui le rese molto elevate sono tali da compensare i prezzi di vendita più bassi e le quote di ammortamento legate alla costruzione di nuovo impianto. Il reddito lordo aziendale annuale corrispondente è 23.702 Euro, mentre l'integrità funzionale cumulata aziendale è pari a 7.

Anche nello scenario di incremento di prezzo del 30%, non prevedendo nessun tipo di ulteriore sussidio pubblico, le soluzioni ottimali rimangono invariate sia in riferimento al management (intensivo) che rispetto all'ordinamento colturale (oliveti di nuovo impianto), che confermano la loro netta convenienza dal punto di vista economico rispetto alle altre alternative.

Dalla simulazione combinata con potenziali sussidi pubblici crescenti per il mantenimento di oliveti di vecchio impianto, gestiti con management tradizionale, si evidenzia come la convenienza economica di tale alternativa, in termini di RL, venga raggiunta ipotizzando un livello di premio ad ha annuo pari a 1.500 Euro, cui corrispondono valori di 25.115 Euro e 35 rispettivamente per i due obiettivi considerati.

Diversamente, le soluzioni ottenute massimizzando l'integrità funzionale (assicurando tuttavia un livello di reddito lordo tale da garantire la copertura dei costi fissi, al netto delle quote di reintegrazione, in virtù di quanto sopra esposto) prevedono entrambe il management tradizionale: se tuttavia nello scenario con incremento di prezzo la soluzione ottima prevede il totale mantenimento degli oliveti di vecchio impianto sui 7 ha di SAU cui corrisponde un RL pari a 14.616 Euro e un IIF di 35, il piano colturale ottimizzato nello scenario di baseline prevede anche la presenza di 0.44 ha di oliveti di nuovo impianto, oltre a 6.56 ha di vecchio impianto, entrambi gestiti con metodo tradizionale. Il RL corrispondente è 7.000 Euro (livello minimo tale da assicurare la copertura dei costi fissi), mentre l'integrità funzionale associata è pari a 34.12.

4. Discussione e conclusioni

Il presente lavoro ha utilizzato un modello di programmazione matematica multi-obiettivo a numeri interi al fine di identificare la scelta ottima di management colturale di una azienda olivicola tipo del Centro Italia (Umbria), nelle ipotesi di massimizzazione del reddito lordo aziendale, da una parte, e massimizzazione dell'integrità funzionale, dall'altra. Attraverso la simulazione di scenari alternativi è stato inoltre stimato l'effetto sulle soluzioni ottime individuate, di cambiamenti nei fattori di contesto esterno legati all'incremento dei prezzi di vendita e all'introduzione di sussidi pubblici volti ad incentivare il mantenimento dei vecchi impianti coltivati con metodo tradizionale. Le soluzioni ottenute, seppur in una prospettiva di caso studio, hanno evidenziato come, nello scenario attuale (baseline), gli obiettivi di tutela del paesaggio non siano compatibili con la necessità di preservare livelli soddisfacenti dei redditi delle aziende agricole, determinando rischi concreti di mutamenti strutturali nel paesaggio agrario tradizionale.

Se infatti il piano colturale ottenuto massimizzando il RL prevede la completa trasformazione della SAU aziendale in favore di oliveti di nuovo impianto gestiti con metodo intensivo, la necessità di copertura dei costi fissi impone, anche nel caso della massimizzazione dell'IIF, la riconversione di parte degli oliveti (6,3% della superficie olivicola dell'azienda tipo) di vecchio impianto ad elevata integrità funzionale in oliveti di nuovo impianto, più produttivi, seppur gestiti con metodo di coltivazione tradizionale. Da sottolineare, inoltre, come tale eventuale riconversione, nell'area di studio, sarebbe subordinata alla concessione dell'autorizzazione, da parte degli Enti preposti, prevista limitatamente ai casi di cui all'art. 94, comma 4, della L.R. Umbria 21/01/2015, N.1². A questo proposito, l'eventuale mancata con-

² L'autorizzazione all'abbattimento degli olivi è concessa dal comune territorialmente competente nei seguenti casi: a) qualora ne sia accertata la morte fisiologica ovvero la permanente improduttività, dovuta a cause non rimosibili; b) qualora per eccessiva fittezza dell'impianto possano arrecare danni all'oliveto; c) per l'esecuzione di opere pubbliche o di pubblica utilità; d) per la realizzazione di edifici in conformità alla vigente strumentazione urbanistico-edilizia.

cessione dell'autorizzazione forzerebbe evidentemente la scelta colturale ottima individuata dal modello all'abbandono (assenza di coltivazione) dell'intera superficie olivicola dell'azienda tipo, per entrambi gli obiettivi considerati, vista l'incapacità degli oliveti di vecchio impianto tradizionali di generare livelli di redditività tali da garantire almeno la copertura dei costi fissi.

La conservazione del paesaggio olivicolo tradizionale dell'area di studio, che costituisce un'esternalità positiva dell'attività agricola e configura un classico esempio di fallimento di mercato, è pertanto connessa alla possibilità di introduzione degli strumenti classici di intervento pubblico e privato previsti dalla teoria economica in tali casi. L'analisi di scenario realizzata suggerisce infatti, da una parte, l'introduzione di un sussidio pubblico minimo di 1.500 Euro/ha per gli oliveti di vecchio impianto gestiti con metodo tradizionale, congiuntamente all'implementazione di un sistema di certificazione che consenta la valorizzazione dell'olio ottenuto da tali oliveti in grado di assicurare un incremento di prezzo di almeno il 30%, al fine di compensare le perdite di ricavo derivanti da rese inferiori e più elevati costi unitari di produzione.

In questo senso, i risultati ottenuti possono offrire primi spunti di analisi sia ai policy-makers locali, nell'ottica della progettazione di misure di sostegno concrete a tutela del paesaggio che superino la logica esclusiva della conservazione dello status-quo, con l'obiettivo della definizione e diffusione di uno schema di certificazione volontario creato ad-hoc.

La possibilità di "vendere" non solo olio d'oliva eccellente, ma anche un intero territorio con la sua storia e la sua cultura potrebbe convincere un maggior numero di giovani a diventare i nuovi protagonisti della olivicoltura tradizionale. Va ricordato che gli oliveti sono considerati una "coltura sociale", in quanto l'olivicoltura è tra le attività agricole che creano la maggior quantità di posti di lavoro per ettaro (Colombo e Perujo-Villanueva, 2017) e gli oliveti sono riconosciuti come un'identità paesaggistica mediterranea (Loumou e Giourga, 2003).

Lungi dal voler estendere i risultati di questo studio in generale all'olivicoltura del centro Italia o nazionale, che presenta sistemi produttivi estremamente eterogenei, il documento mira a proporre uno strumento utile per supportare le decisioni dei produttori olivicoli, seppur in una prospettiva di analisi fortemente dipendente dal contesto di applicazione, stante la natura delle assunzioni fatte circa la staticità delle rese e dei costi di produzione variabili. Parallelamente, i risultati ottenuti offrono indicazioni di massima utili alla definizione di misure pubbliche di incentivazione, a livello locale, volte alla conservazione del paesaggio.

A tale proposito, fra le principali limitazioni del presente lavoro sono da segnalare: in primo luogo, l'adozione di un modello di tipo "normativo", che propone soluzioni ottime in termini allocativi ma che possono risultare parzialmente slegate rispetto alla combinazione produttiva osservata pre-ottimizzazione, a causa di fattori, meccanismi e comportamenti non direttamente osservabili e modellizzabili. In secondo luogo la modalità di costruzione dell'indice di integrità funzionale, definito per unità di superficie, presuppone, con necessaria semplificazione introdotta ai fini della metodologia utilizzata, l'esistenza di una relazione perfettamente lineare fra le due variabili, tralasciando così aspetti di maggiore complessità legati

alla natura della relazione. In terzo luogo, la quantificazione del premio di prezzo ipotizzato per la certificazione paesaggistica nell'analisi di scenario, andrebbe ulteriormente supportata mediante studi di marketing ad hoc volti a indagare le preferenze dei consumatori per tale attributo.

In questo senso, i possibili sviluppi del presente lavoro potrebbero muoversi lungo le seguenti tre direzioni: i) realizzazione di studi volta a verificare la effettiva disponibilità dei consumatori a pagare un premio di prezzo per l'EVOO con certificazione di paesaggio; ii) la transizione da un approccio di tipo aziendale ad uno di tipo regionale, al fine di incrementare la validità esterna dei risultati ottenuti; iii) l'adozione di un modello di Programmazione Matematica Positiva (PMP), che costituisce uno dei principali strumenti utilizzati al fine di valutare l'effetto di misure di policy a livello europeo, nazionale e regionale (Solazzo *et al.*, 2016).

Acknowledgement

Il lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto "La qualità del paesaggio per lo sviluppo socio-economico: il caso studio dei paesaggi olivicoli storici di Trevi", finanziato con i fondi della Ricerca di Base 2016 dall'Università di Perugia.

References

- Agnoletti, M., Conti, L., Frezza, L., Monti, M., & Santoro, A. (2015). Features analysis of dry stone walls of Tuscany (Italy). *Sustainability*, 7, 13887–13903. DOI:10.3390/su71013887.
- Aljanabi, A. A., Mays, L. W., & Fox, P. (2018). Optimization model for agricultural reclaimed water allocation using mixed-integer nonlinear programming. *Water*, 10(10), 1291.
- Annetts, J. E., & Audsley, E. (2002). Multiple objective linear programming for environmental farm planning. *Journal of the Operational Research Society*, 53(9), 933–943.
- Antognelli, S., Vizzari, M., & Robert, S. (2017). Cultural quality of landscape: an expert-based multicriteria approach to assess functional integrity. in *11th International AIIA Conference: "Biosystems Engineering addressing the human challenges of the 21st century"*, July 5-8, 2017 Bari – Italy.
- Cembalo, L., D'Ercole, E., & Carbone, S. (1998). Agricoltura Ecocompatibile: Un Modello di Analisi Multiobiettivo a Numeri Interi. Comunicazione presentata al 35° *Convegno di Studi SIDEA di Palermo*.
- Camera di Commercio di Perugia (2016). *Listino Borsa merci*. (Available online: <http://ced.pg.camcom.it:8080/listini/listinosettimanale>)
- Cecchini, L., Torquati, B., & Chiorri, M. (2018). Sustainable agri-food products: A review of consumer preference studies through experimental economics. *Agricultural Economics*, 64(12), 554–565.
- Chang, Y. C., & Ko, T. T. (2014). An interactive dynamic multi-objective programming model to support better land use planning. *Land Use Policy*, 36, 13–22.
- Chiorri, M., & De Gennaro B. (2012). Analisi micro economica in olivicoltura, *Collana divulgativa dell'Accademia Nazionale dell'olivo e dell'olio*, Volume XXIX, Spoleto.
- Clímaco, J., Ferreira C., & Captivo, M.E., (1997). Multicriteria integer programming: An overview of the different algorithmic approaches. In *Multicriteria analysis* (pp. 248–258). Berlin, Springer.

- Colombo, S., & Perujo-Villanueva, M. (2017). Analysis of the spatial relationship between small olive farms to increase their competitiveness through cooperation. *Land Use Policy*, 63, 226–235. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.01.032
- Consiglio Oleicolo Internazionale (2019). World Olive Oil Figures. (Available online: <http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/132-world-table-olive-fig.s> (2019))
- Dono, G., Cortignani, R., Dell'Unto, D., Deligios, P., Doro, L., Lacetera, N., & Roggero, P. P. (2016). Winners and losers from climate change in agriculture: insights from a case study in the Mediterranean basin. *Agricultural Systems*, 147, 65–75.
- Fasakhodi, A. A., Nouri S. H., & Amini, M. (2010). Water resources sustainability and optimal cropping pattern in farming systems; a multi-objective fractional goal programming approach. *Water Resources Management*, 24(15), 4639–4657.
- Ferro-Vázquez, C., Lang, C., Kaal J., & Stump, D. (2017). When is a terrace not a terrace? The importance of understanding landscape evolution in studies of terraced agriculture. *Journal of Environmental Management*, 202, 500–513.
- Fleskens, L., & De Graaff, J. (2010). Conserving natural resources in olive orchards on sloping land: Alternative goal programming approaches towards effective design of cross-compliance and agri-environmental measures. *Agricultural Systems*, 103(8), 521–534.
- Fukamachi, K. (2017). Sustainability of terraced paddy fields in traditional satoyama landscapes of Japan. *Journal of Environmental Management*, 202, 543–549.
- Gallerani, V., Zanni, G., & Viaggi, D. (2004). *Manuale di estimi*. McGraw-Hill.
- Haines-young, R., & Potschin, M., (2013). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. Nottingham.
- Heckelei, T., Britz, W., & Zhang, Y. (2012). Positive mathematical programming approaches—recent developments in literature and applied modelling. *Bio-based and Applied Economics Journal*, 1(1050-2016-85729), 109–124.
- Loumou, A., & Giourga, C. (2003) Olive groves: “The life and identity of the Mediterranean”. *Agriculture and Human Values*, 20, 87–95. DOI:10.1023/A:1022444005336
- Marchini A., Diotallevi F., Fioriti L., & Pampanini R. (2010). A quantitative analysis of olive oil market in the North-West Italy. In atti *Enometrics XVII*, Palermo 10-12 giugno 2010.
- Oudshoorn, F. W. Sørensen, C. A. G., & de Boer, I. I. J. M. (2011). Economic and environmental evaluation of three goal-vision based scenarios for organic dairy farming in Denmark. *Agricultural Systems*, 104, 315–325, DOI:10.1016/j.agsy.2010.12.003
- Owen, R. W., Giacosa, A., Hull, W. E., Haubner, R., Würtele, G., Spiegelhalter, B., & Bartsch, H. (2000). Olive-oil consumption and health: the possible role of antioxidants. *The Lancet Oncology*, 1(2), 107–112.
- Proietti P. (a cura di) (2018). Climate Change Mitigation through a Sustainable Supply Chain for the Olive Oil Sector. Mid-term Report Olive4climate Life project number LIFE15 CCM/IT/000141, 30 June.
- Romero, C. (1990). *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. Pergamon Press, Oxford.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281.
- Silva, S., Alcáda-Almeida, L., & Dias, L. C. (2017). Multiobjective programming for sizing and locating biogas plants: A model and an application in a region of Portugal. *Computers Operations Research*, 83, 189–198.
- Solazzo, R., Donati, M., Tomasi, L., & Arfini, F. (2016). How effective is greening policy in reducing GHG emissions from agriculture? Evidence from Italy. *Science of the Total Environment*, 573, 1115–1124.
- Stancu-Minasian, I. M. (2012). *Fractional programming: theory, methods and applications* (Vol. 409). Springer Science Business Media.
- Torquati, B., Cecchini, L., Venanzi, S., & Giacchè, G. (2018). Economic analysis of the traditional cultural terraced olive-growing landscape and participatory planning process. In Varotto, M., Bonardi, L., & Tarolli, P. (Eds). *World terraced landscapes: history, environment, quality of life*, Vol.9. Cham, SpringerNature.

- Torquati, B., Giacchè G., & Venanzi, S. (2015). Economic analysis of the traditional cultural vineyard landscapes in Italy. *Journal of Rural Studies*, 39, 122–132. DOI:10.1016/j.jrurstud.2015.03.013.
- Van Calker, K. J., Berentsen, P. B. M., Giesen, G. W. J., & Huirne, R. B. M. (2008). Maximising sustainability of Dutch dairy farming systems for different stakeholders: A modelling approach. *Ecological Economics*, 65, 407–419, DOI:10.1016/j.ecolecon.2007.07.010.
- Van Calker, K. J., Berentsen, P. B. M., Romero, C., Giesen, G. W. J., & Huirne, R. B. M. (2006). Development and application of a multi-attribute sustainability function for Dutch dairy farming systems. *Ecological Economics*, 57, 640–658, DOI:10.1016/j.ecolecon.2005.05.016.
- Zhang, G., Lu, J., & Gao, Y. (2015). *Multi-Level Decision Making*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.