

ILARIA TIOZZO

Università degli Studi di Roma, "La Sapienza"

MARCO RAO

Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare
Divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute
Laboratorio Sviluppo di Acceleratori di Particelle
e Applicazioni Medicali
Centro Ricerche Frascati, Roma

M. BOCCACCI MARIANI

Università degli Studi di Roma, "La Sapienza"

UN MODELLO COSTI-EFFICACIA PER LA VALUTAZIONE DI IMPATTO DI IMPROVEMENT TECNOLOGICI NELLA PMI AGRICOLA ITALIANA

Il caso dell'agrivoltaico

RT/2023/8/ENEA

ENEA

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

ILARIA TIOZZO

Università degli Studi di Roma, "La Sapienza"

M. BOCCACCI MARIANI

Università degli Studi di Roma, "La Sapienza"

MARCO RAO

Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare
Divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute
Laboratorio Sviluppo di Acceleratori di Particelle
e Applicazioni Medicali
Centro Ricerche Frascati, Roma

UN MODELLO COSTI-EFFICACIA PER LA VALUTAZIONE DI IMPATTO DI IMPROVEMENT TECNOLOGICI NELLA PMI AGRICOLA ITALIANA

Il caso dell'agrivoltaico

RT/2023/8/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina www.enea.it

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

UN MODELLO COSTI-EFFICACIA PER LA VALUTAZIONE DI IMPATTO DI IMPROVEMENT TECNOLOGICI NELLA PMI AGRICOLA ITALIANA

Il caso dell'agrivoltaico

I. Tiozzo, M. Rao, M. Boccacci Mariani

Riassunto

Il presente lavoro analizza un modello di costi-efficacia concepito per la PMI agricola italiana e mirato a fornire elementi per il supporto alle decisioni che tali imprese necessitano nell'integrazione di tecnologie innovative (Agricoltura 4.0). Il focus di questo lavoro è sulla tecnologia agrivoltaica ed i metodi utilizzati prevedono, oltre all'analisi costi-efficacia, il costo livellato dell'energia (LCOE), la matrice di contabilità sociale (SAM) e il machine learning. I dati utilizzati provengono dalla letteratura scientifica disponibile in materia e da contatti con aziende agricole e tecnologiche del settore, in particolare tra esse la REMTEC srl. I risultati del lavoro mostrano che tale tecnologia potrebbe fornire significativi vantaggi a livello energetico, ambientale ed economico per i soggetti considerati, ed evidenzia nel livello degli investimenti richiesto il maggiore ostacolo attuale alla concreta implementazione nelle PMI del nostro paese.

Parole chiave: Agricoltura 4.0, Agrivoltaico, Machine learning, Analisi costi-efficacia.

Abstract

This work analyzes a cost-effective model developed for the Italian agricultural SME aimed at providing elements for the decision support that these companies need in the integration of innovative technologies (Agriculture 4.0). The focus of this work is on agrivoltaic technology, and the used methods are the cost-effectiveness analysis, the levelised cost of energy (LCOE), the social accounting matrix (SAM) and machine learning. The used data comes from the scientific literature and from companies involved in this study, REMTEC srl. The results show that this technology could provide significant energy, environmental and economic advantages for the companies, and find in the required investment level the critical issue towards integration of agrivoltaic technology in Italy.

Keywords: Agriculture 4.0, Agrivoltaics, Machine learning, Cost-effectiveness analysis.

Indice

INTRODUZIONE	7
CAPITOLO 1 – UNO SGUARDO D’INSIEME ALLO STATO E ALLE PROSPETTIVE DEL SETTORE AGRICOLO ITALIANO	9
1.1 UN QUADRO D’INSIEME DEL SETTORE AGRICOLO NAZIONALE DALL’ULTIMO CENSIMENTO ISTAT	9
1.1.1. ASPETTI STRUTTURALI	9
1.1.2 LA FORZA LAVORO	12
1.1.3 INNOVAZIONE	14
1.1.4 GLI EFFETTI DEL COVID-19	16
1.2 ALCUNE CONSIDERAZIONI SPECIFICHE SUL SETTORE AGRICOLO NAZIONALE, TRA RIPRESA DELLA PANDEMIA E CRISI INTERNAZIONALE NEL CONTESTO EUROPEO	17
1.3 SOSTEGNO E RILANCIO DELL’AGRICOLTURA NAZIONALE: LE MISURE DEL PNRR PER IL SETTORE PRIMARIO	19
1.3.1. OBIETTIVI E STRUTTURA DEL PNRR NAZIONALE VERSO L’ORIZZONTE DELLA SOSTENIBILITÀ....	20
1.3.2. INTEGRAZIONE CON IL PIANO STRATEGICO DELLA PAC 2023-2027	23
1.3.4. NUOVE MISURE PER RISPONDERE ALLA CRISI IN UCRAINA	25
1.4 IL LIVELLO DI SOSTENIBILITÀ DELLE IMPRESE NEL SETTORE PRIMARIO	26
1.5 ENERGIA E AGRICOLTURA - ALCUNE PROSPETTIVE SULL’UTILIZZO DI FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI NEL SETTORE AGRICOLO	29
1.5.1 AGROENERGIE.....	29
1.5.2 BREVE PANORAMICA SUL FOTOVOLTAICO IN ITALIA	32
1.5.3 AGRIVOLTAICO: IL CONNUBIO PERFETTO TRA ENERGIA E AGRICOLTURA	38
1.5.4 LE COMUNITÀ ENERGETICHE RINNOVABILI (CER) COME RISOLUZIONE AL VINCOLO DEI COSTI DI INVESTIMENTO	44
1.5.5 IL CASO AZIENDALE: REM TEC S.R.L.....	46
CAPITOLO 2 – METODOLOGIA.....	49
2.1 ANALISI COSTI-EFFICACIA - MISURAZIONE DELLA CO2 EVITATA A LIVELLO MICRO E MACROECONOMICO	53
2.2 IL COSTO LIVELLATO DELL’ENERGIA (LCOE).....	54
2.3 IL MACHINE LEARNING	57
2.3.1 UTILIZZO DI UNA MACCHINA A VETTORI DI SUPPORTO (SVM) PER LA SIMULAZIONE DEL PREZZO DELL’ENERGIA ELETTRICA PER L’ARCO DI VITA DELL’IMPIANTO	59
2.4 LA MATRICE DI CONTABILITÀ SOCIALE (SOCIAL ACCOUNTING MATRIX, SAM)	63
2.4.1 LA MATRICE DI CONTABILITÀ SOCIALE APPLICATA ALL’AGRIVOLTAICO	66
CAPITOLO 3 – RISULTATI.....	69
CONCLUSIONI	78
RIFERIMENTI.....	80

Il presente lavoro intende esplorare le prospettive offerte dall'adozione di tecnologie innovative, normalmente comprese in quel vasto insieme noto come Agricoltura 4.0, all'interno di una PMI agricola in Italia.

Il lavoro è stato realizzato nel contesto di una tesi di laurea magistrale a cura della prima autrice, seguita nel suo progetto dal prof. Mariani di "La Sapienza" e dal dr. Rao per conto di ENEA. Gli autori hanno inoltre largamente beneficiato del supporto scientifico dell'arch. Alessandra Scognamiglio, di ENEA e dell'ing. Alessandro Reboldi, di REMTEC s.r.l., per gli approfondimenti legati alla tecnologia agrivoltaica e alla sua concreta implementazione sul campo: ad essi vanno sentiti ringraziamenti per il contributo scientifico fornito e la disponibilità dimostrata.

Il focus è dedicato ad una delle più promettenti tecnologie disponibili per la produzione di energia da fonti rinnovabili integrabili nella dimensione agricola, ovvero l'Agrivoltaico; recentemente normato da linee guida del MiTE e capace di coniugare non solo la dimensione della produzione di energia da fonti rinnovabili con l'ordinaria attività agricola, ma di integrare in modo sinergico le caratteristiche dell'impianto e le coltivazioni, esso si propone come tecnologia altamente sostenibile sotto numerosi e rilevanti aspetti, quali la gestione ottimale della risorsa idrica, così cruciale nel prossimo futuro, in particolare per il settore primario che ne utilizza una quota significativa sul totale dei consumi nazionali.

Il Capitolo Primo, di natura descrittiva, offre una panoramica sulla situazione attuale del settore primario in Italia. Ritroviamo aspetti quali la numerosità delle aziende nostrane, la distribuzione per genere e per posizione ricoperta della forza lavoro, il grado di innovazione del settore e il livello di sostenibilità stimato per le imprese agricole. Passando per le misure nazionali a sostegno del comparto agricolo, si giunge al tema della Rivoluzione Verde e della Transizione Ecologica che vede nelle fonti di energia rinnovabile una possibile soluzione di resilienza economica, sociale ed ambientale del settore, il quale ha visto le proprie priorità modificarsi in seguito sia agli effetti della crisi sanitaria da Covid-19, sia in risposta al conflitto ucraino che ha alterato gli equilibri riguardanti l'approvvigionamento di materie prime e gli scambi commerciali.

L'interesse per questi temi ha quindi orientato la ricerca verso l'analisi di una tra le tecnologie più all'avanguardia e ad ampio spettro di azione riguardo la produzione di energia rinnovabile in agricoltura: l'Agrivoltaico. Come premesso, lo studio ha beneficiato del contributo ENEA e di una

società leader nel settore, REM TEC S.r.l., per i dati necessari alla valutazione di impatto energetico ed economico della tecnologia agrivoltaica nella PMI agricola nazionale. La possibilità di visitare personalmente uno degli impianti che la società stessa possiede in Italia presso Monticelli d'Ongina (PC), ha offerto a questo lavoro un taglio di tipo pratico, utile a chiarire quali siano le reali questioni che un imprenditore agricolo dovrebbe considerare nel caso in cui prenda in considerazione la possibilità di introdurre questo sistema come supporto alla propria attività principale, nonché come fonte di diversificazione del reddito e di conseguente diminuzione del rischio d'impresa.

Nel Capitolo Secondo viene descritta la metodologia impiegata per i calcoli, basata su quattro cardini: l'analisi costi-efficacia, nei termini della misurazione della riduzione di CO₂ generata; la metrica LCOE per il calcolo del ricavo medio per unità di energia elettrica prodotta; il machine learning per la stima accurata del prezzo dell'energia (in particolare mediante macchine a vettori di supporto o SVM) e, infine, la Matrice di Contabilità Sociale (SAM), utilizzata allo scopo di fornire la misura dell'impatto macroeconomico in termini di valore aggiunto e unità di lavoro attivate (ULA) ove si consideri l'effetto dell'introduzione della tecnologia su scala nazionale, spostando la dimensione dall'ottica imprenditoriale a quella del decisore pubblico.

I risultati della ricerca sono riportati nel Capitolo Terzo e si basano su un modello di calcolo che tiene conto di tutte le informazioni essenziali da integrare nel bilancio aziendale e che rappresentano sia la dimensione economica che quella energetica ed ambientale, sotto forma di variabili specifiche da stimare o quantificare mediante dati disponibili. È superfluo ma doveroso precisare che lo studio proposto non si propone di fornire assunzioni e dati utilizzabili ma si limita ad indicare un approccio metodologico di calcolo utile al decisore, pubblico come privato, quale riferimento per sviluppare sistemi che consentano di effettuare un investimento in FER in modo consapevole.

L'agrivoltaico in Italia è ancora in divenire. A livello normativo, nel luglio 2022 il Ministero della Transizione Ecologica ha presentato le Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici, un rapporto che mette a punto le caratteristiche tecnico-strutturali necessarie alla definizione stessa della tecnologia agrivoltaica, ma risultano mancanti ancora, nonostante le Misure del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR- Misura 2 Componente 2 investimento 1.1) prevedano 1,10 mld di euro per lo sviluppo di questi sistemi, linee guida più essenziali e di facile accessibilità che forniscano all'investitore specifiche indicazioni in materia. Fra i molti temi per future ricerche sarebbe interessante approfondire gli aspetti giuridici legati alla tecnologia, la possibilità di accesso ai finanziamenti necessari per il sostenimento dell'investimento per le PMI e, assai interessante, l'aspetto paesaggistico legato ai pattern spaziali generati dagli impianti agrivoltaici.

1.1 Un quadro d'insieme del settore agricolo nazionale dall'ultimo censimento Istat

Il 28 giugno del 2022 l'Istat ha reso noti i primi risultati del 7° Censimento generale dell'agricoltura [1], svolto tra gennaio e luglio 2021, con riferimento all'annata agraria 2019-2020, dopo il posticipo imposto dal perdurare della pandemia. Il rapporto presenta lo stato del settore agricolo e zootecnico sotto molteplici aspetti, dalle caratteristiche del conduttore all'utilizzo dei terreni e consistenza degli allevamenti, dai metodi di gestione aziendale alla multifunzionalità fino alla manodopera impiegata. Di seguito se ne riporta una sintesi.

1.1.1. Aspetti strutturali

Per iniziare, è possibile osservare che in 38 anni, dal 3° Censimento dell'agricoltura, i cui dati sono comparabili con quelli del 2020 – sono scomparse quasi due aziende agricole su tre (-63,8%), in particolare negli ultimi vent'anni (circa -50% rispetto al 2000).

Accanto a tale dato, con riferimento al 1982, si osserva come la diminuzione della Superficie Agricola Utilizzata (SAU) e della Superficie Agricola Totale (SAT¹) è stata estremamente più contenuta rispetto al numero di aziende (rispettivamente -20,8% e -26,4%): la dimensione media delle aziende agricole è cresciuta in termini di SAU (da 5,1 a 11,1 ha medi per azienda), di SAT (da 7,1 a 14,5 ha medi per azienda).

¹ Superficie Agricola Utilizzata (SAU): Superficie utilizzata nell'annata agraria 2019-2020 a fini agricoli dall'azienda che include i seminativi, le coltivazioni legnose agrarie, i prati permanenti e pascoli e gli orti familiari, indipendentemente dal titolo di possesso dei terreni. Comprende sia la superficie all'aperto che protetta. Superficie Agraria non utilizzata (SANU): Insieme dei terreni inclusi nel perimetro aziendale temporaneamente non utilizzati a scopi agricoli per una qualsiasi ragione (di natura economica, sociale o altra) che non rientrano nell'avvicendamento, ma suscettibili di essere utilizzati a scopi agricoli mediante l'intervento di mezzi normalmente disponibili presso l'azienda. Sono incluse le superfici abbandonate facenti parte dell'azienda agricola ma non ricoperti da formazioni arbustive e/o arboree

Superficie Agricola Totale (SAT): Superficie interna al perimetro aziendale che include quindi la Superficie Agricola Utilizzata (SAU) (seminativi, coltivazioni legnose agrarie, prati permanenti e pascoli, orti familiari), la superficie ad arboricoltura da legno, i boschi, la superficie agricola non utilizzata, l'altra superficie e quella dedicata alle coltivazioni di funghi (sia essa in superficie o sotterranea). Va considerata sia la superficie all'aperto che protetta.

Riguardo alle modalità di gestione, l'azienda individuale o familiare da conto del 93,5% delle aziende agricole nel 2020, nel 2010 il dato era al 96,1%, aumenta invece l'incidenza relativa delle società di persone (da 2,9% a 4,8%), delle società di capitali (da 0,5% a 1%) e in misura lieve anche delle "altre" forme giuridiche (da 0,1% a 0,2%). Va tuttavia aggiunto che la minore incidenza delle aziende individuali o familiari in termini di superfici è legata alla loro dimensione media (8,6 ettari di SAU nel 2020), assai inferiore a quella delle società di persone (41,6 ettari) e di capitali (41,5). Dal 2010 al 2020 diminuisce moltissimo la quantità di aziende agricole che coltivano terreni esclusivamente di proprietà (Grafico 1), sia a livello di valore assoluto (1.187.667 nel 2010, 664.293 nel 2020), sia con riguardo al peso relativo dei terreni di proprietà rispetto al totale (da 73,3% a 58,6%). In forte crescita, al contrario, tutte le altre forme di titolo di possesso (terreni in affitto da 4,7% a 10,1% del totale, combinazione tra proprietà e affitto da 9,8% del 2010 a 12,5% del 2020, uso gratuito da 3,8% a 6%, combinazione tra proprietà e uso gratuito da 5,6% a 8,7%).

Le tendenze rispetto al 2010 sono confermate ed accentuate aggiungendo il confronto con il 2000.

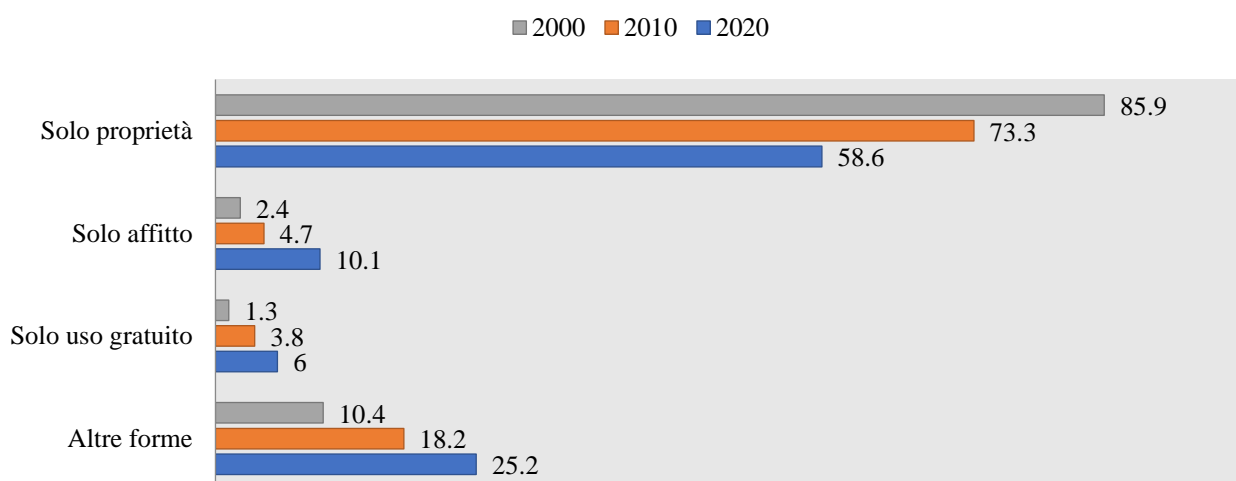


GRAFICO 1. AZIENDE AGRICOLE PER TITOLO DI POSSESSO DEI TERRENI, AI CENSIMENTI 2020, 2010 E 2000. Composizioni percentuali (totale aziende agricole = 100) - Fonte: Istat

La tendenza alla concentrazione dei terreni agricoli è inoltre verificata anche esaminando le classi dimensionali in termini SAU: la tendenza alla riduzione decresce al crescere della classe di SAU (-51,2% per le aziende agricole con meno di un ettaro e -3,4% per le aziende tra 20 e 29,99 ettari); cresce, invece, il numero di aziende agricole con almeno 30 ettari di SAU, in particolare quelle più grandi, con almeno 100 ettari (+17,7%).

Per effetto di tali dinamiche, nel 2020 solo poco più di 2 aziende agricole su 10 hanno meno di un ettaro di SAU contro circa 3 su 10 del 2010 e più di 4 su 10 nel 2000. Al contempo, l'incidenza del

numero di aziende agricole con almeno 10 ettari di SAU e meno di 100 è più che raddoppiata tra il 2000 e il 2020 (da 8,9% a 20,2%), mentre quella delle aziende agricole con almeno 100 ettari è rimasta sostanzialmente invariata (da 1,5% a 1,6%).

Altro dato significativo concerne il calo delle aziende agricole su tutto il territorio nazionale, in particolare al Centro-Sud².

Tra gli ultimi due censimenti, il numero di aziende agricole scende come minimo al 22,6% (Sardegna) in tutte le regioni; uniche eccezioni Bolzano/Bozen (-1,1%), Trento (-13,4%) e Lombardia (-13,7%). La diminuzione più rilevante è in Campania (-42,0%).

Tale fenomeno è connotato per macroaree nel Paese, essendo il calo di aziende maggiore nel Sud (-33%) e nelle Isole (-32,4%): per Nord e Centro il dato è sotto la media nazionale.

La modalità di utilizzo dei terreni agricoli rimane sostanzialmente invariata rispetto all'ultimo censimento: più del 50% della SAU rimane ai seminativi (57,4%), poi i prati permanenti e pascoli (25,0%), le legnose agrarie (17,4%) e gli orti familiari (0,1%). Solo i seminativi risultano leggermente in aumento in termini di ha rispetto al dato del penultimo censimento (+2,9%).

Altra osservazione rilevante, riguarda l'aumento della dimensione media delle aziende con SAU (+41,6%), in particolare relative ai seminativi (+17,4%) e alle legnose agrarie (+36,5%): diminuisce invece per le aziende con prati e pascoli (-11,9%).

I seminativi sono coltivati in oltre la metà delle aziende italiane, su oltre 7 milioni di ettari con una dimensione media di 10 ettari. In testa a questa classifica troviamo Emilia-Romagna, Lombardia, Sicilia e Puglia. Tra i seminativi, la maggiore importanza è di gran lunga dei cereali per la produzione di granella (44% degli ha). Ancora più in dettaglio, il frumento duro è coltivato in oltre 135mila aziende per una superficie di oltre 1 milione di ettari.

L'olivo si conferma come la legnosa agraria di maggiore importanza insieme alla vite, interessando circa 800mila aziende (-32,8% sull'ultimo censimento) su una superficie di 2,1 milioni di ettari (-8,2%) caratterizzata da una dimensione media di 2,7 ettari. Le legnose agrarie sono concentrate in particolare nel Mezzogiorno, soprattutto in Puglia, Sicilia e Calabria (46% delle aziende e 47% della superficie).

La Puglia è leader per numero di aziende coltivatrici (170mila) e superficie (491mila ettari), seconda la Sicilia (111mila aziende e 328mila ettari).

² Importante da notare, come indicato nel rapporto Istat: "La segmentazione territoriale delle aziende agricole attualmente disponibile si basa sull'attribuzione di ogni azienda alla regione o alla provincia autonoma in cui è localizzata la sede legale o il centro aziendale dell'azienda stessa. Tale aspetto non influisce sull'attribuzione regionale dei terreni agricoli per le aziende unilocalizzate o plurilocalizzate se con terreni tutti localizzati nella stessa regione o provincia autonoma".

Per i prati permanenti e i pascoli, rimane sostanzialmente identica la loro presenza in termini di aziende, 285mila (+3,8% rispetto all'ultimo censimento) ma scende la superficie occupata (3,1 milioni di ettari, -8,7%). Per questo tipo di coltivazione la Sicilia è la regione con il maggior numero di aziende (43mila) e la Sardegna quella con la maggiore superficie dedicata (698mila ettari).

Prati permanenti e pascoli sono colture estensive, il che si traduce in aziende di media o grande dimensione.

1.1.2 La forza lavoro

Anche l'ultimo censimento conferma la predominanza della manodopera familiare rispetto a quella non familiare, ma indica con chiarezza l'evoluzione dell'agricoltura italiana verso forme gestionali maggiormente strutturate, che si avvalgono anche di manodopera salariata. Questo fenomeno è strettamente legato all'evoluzione delle forme giuridiche delle aziende agricole.

Nel 2020 la manodopera familiare è presente nel 98,3% delle aziende agricole (dal 98,9% nel 2010) e la forza lavoro complessiva è in calo netto (-28,8% in termini di persone e -14,4% in termini di giornate rispetto al 2020) ma la quota di lavoro da manodopera non familiare cresce moltissimo (nel 2020 è il 47,0% delle persone complessivamente impegnate nelle attività agricole rispetto al 24,2% del 2010, + 22,8). Tale dato è riflesso dalla crescita percentuale di aziende nelle quali è presente manodopera non familiare (da 13,7% a 16,5%).

La tipologia più diffusa di manodopera non familiare è quella saltuaria, che rappresenta il 66,4% al totale, per circa 1,3 milioni di lavoratori che svolgono lavori stagionali o limitati a singole fasi produttive (il contributo in termini giornate di lavoro standard pro-capite è quindi basso: 41 a livello nazionale, con valori massimi nelle Isole (54) e nel Nord-est (51).

La manodopera assunta in forma continuativa è solo il 26,8% di quella non familiare, ma, come prevedibile rende conto del maggior contributo medio di giornate annue pro-capite lavorate (90), sebbene inferiore a quello della manodopera familiare (100).

Il contributo maggiore al valore nazionale lo fornisce il Centro (115 giornate) seguito dal Nord-est (110).

Nel 2020 è straniero circa un lavoratore su tre (uno su quattro rispetto all'ultimo censimento). Il ricorso a manodopera straniera (Ue ed extra Ue) è particolarmente diffuso tra le forme contrattuali più flessibili, lavoratori saltuari e non assunti direttamente dall'azienda. In quest'ultima categoria, il 45% dei lavoratori non è italiano e il 29% proviene da Paesi extra Ue.

Il livello assoluto di presenza femminile nelle aziende agricole è in calo (nel 2020 le donne sono il 30% circa del totale delle persone occupate, nel 2010 erano il 36,8%); cresce però il numero di giornate di

lavoro rispetto a quello maschile (+30,0% contro +13,9%), con una importante differenziazione tra la manodopera familiare (+54,7%) rispetto a quella non familiare (-6,5%).

A fronte del livello assoluto, cresce invece il peso delle donne nel ruolo manageriale (i capi azienda sono donne nel 31,5% dei casi, contro i 30,7% del 2010). È ancora bassa la quota di capi azienda giovani (i capi azienda fino a 44 anni sono il 13% nel 2020, dal 17,6% del 2010).

La formazione dei capi azienda è ancora quasi interamente formata dall'esperienza in campo: (59% fino alla terza media o nessun titolo, a fronte del 10% laureato). Ricordiamo però che nel 2010, solo circa il 6% era laureato e oltre il 70% possedeva un titolo di studio fino alla terza media o nessun titolo e che un capo azienda su tre ha partecipato ad almeno un corso di formazione agricola.

In dieci anni si quadruplica, inoltre, l'informatizzazione delle aziende agricole.

Nel 2020 il 15,8% delle aziende agricole usa computer o altre attrezzature informatiche o digitali per fini aziendali, una quota oltre quattro volte superiore a quella rilevata con il Censimento del 2010 (3,8%). Nel decennio, l'incremento della digitalizzazione ha interessato tutte le regioni italiane, contribuendo a ridurre le disparità regionali. Il numero di aziende agricole digitalizzate è quasi triplicato in media (+193,7%) e quadruplicato in Calabria e Sardegna. La crescita della diffusione di attrezzature informatiche e digitali nelle aziende agricole è stata molto più intensa al Sud (+247,0%), nelle Isole (+241,9%) e nel Nord-est (+205,5%), mentre nelle altre ripartizioni geografiche si è mantenuta sotto la media nazionale. Nonostante questo incremento generalizzato, la distribuzione territoriale delle attrezzature informatiche continua a penalizzare il Sud (solo il 6,7% delle aziende informatizzate è localizzato in tale ripartizione) e le Isole (10,3%) che tuttora soffrono di un forte divario rispetto al Centro (16,1%), al Nord-ovest (32,9%) e soprattutto al Nord-est (33,5%), trainato dalle province autonome di Trento (52,8%) e Bolzano (60,8%). Per le aziende che svolgono anche altre attività remunerative connesse a quelle agricole, l'incidenza della digitalizzazione è pari al 61,7%: tra queste, le più informatizzate sono le unità agricole che svolgono attività di agriturismo (69,3%), agricoltura sociale (71,5%) e fattoria didattica (76,6%). La presenza di computer e/o altre attrezzature informatiche o digitali è molto più diffusa nel caso di aziende che praticano sia attività agricola sia attività zootecnica (26,1%) rispetto alle aziende con solo allevamenti (18,4%) e soprattutto a quelle che svolgono esclusivamente attività agricola (13,1%). Dal punto di vista dell'utilizzo prevalente dei terreni agricoli, sono le aziende che coltivano prati permanenti e pascoli a essere più informatizzate, con un'incidenza del 22,4%, seguite da quelle con seminativi (17,8%) e con coltivazioni legnose agrarie (12,3%). Le aziende agricole che coltivano prevalentemente orti familiari sono chiaramente quelle in cui la digitalizzazione è meno diffusa (9,8%).

La digitalizzazione delle aziende agricole è strettamente legata al profilo del capo azienda e al genere. Nonostante il processo di digitalizzazione abbia riguardato anche l'universo femminile, le aziende gestite da uomini continuano a essere più informatizzate rispetto a quelle con un capo azienda donna (17,7% verso 11,6%).

Il Censimento rileva, poi, più informatizzati giovani e specializzati in materie agrarie.

Le aziende con a capo un under45 sono quattro volte più informatizzate rispetto a quelle gestite da un capo oltre i 64 anni (32,2% e 7,6%). Anche il titolo di studio è particolarmente significativo. L'incidenza delle aziende digitalizzate è maggiore nel caso in cui esse siano gestite da un capo azienda istruito e ancora di più nel caso in cui il percorso di studi sia orientato verso specializzazioni di tipo agrario. L'informatizzazione e l'associazionismo sono strettamente connesse: due aziende informatizzate su tre fanno parte di organizzazioni di produttori, reti di imprese o sono associate ad altre organizzazioni (64,8%).

Il grado di informatizzazione è fortemente correlato alla dimensione aziendale. Considerando la dimensione aziendale in termini di Unità di Lavoro (ULA), la differenziazione tra aziende informatizzate non è molto evidente sia per le aziende grandi sia per quelle piccole. Risulta informatizzato il 78,2% delle grandi aziende contro appena l'8,8% delle piccole. Nelle aziende medie il gap è inferiore, quelle che utilizzano attrezzature digitali sono il 44,7%. L'effetto della dimensione aziendale sulla propensione alla digitalizzazione si riscontra anche utilizzando la Superficie Agricola Utilizzata (SAU) come indicatore dimensionale. Infatti, la quota di aziende informatizzate supera il 50% tra quelle con almeno 50 ettari di SAU (50,9%) e scende al 6,1% nelle aziende con meno di un ettaro. Analogamente, utilizzando come indicatore dimensionale le Unità di Bestiame Adulto (UBA), la quota di informatizzazione passerebbe dal 71,6% per le aziende con oltre 100 UBA al 13,4% per quelle con non oltre un UBA.

1.1.3 Innovazione

È stato chiesto alle aziende agricole di evidenziare l'eventuale presenza di investimenti innovativi nel triennio 2018-2020, riguardo l'agricoltura di precisione, la ricerca e sviluppo, l'acquisizione di macchinari, attrezzature, hardware e software tecnologicamente avanzati o di altre tecnologie.

L'11% delle aziende agricole ha dichiarato, in media, di aver effettuato almeno un investimento innovativo tra il 2018 e il 2020 (Grafico 2).

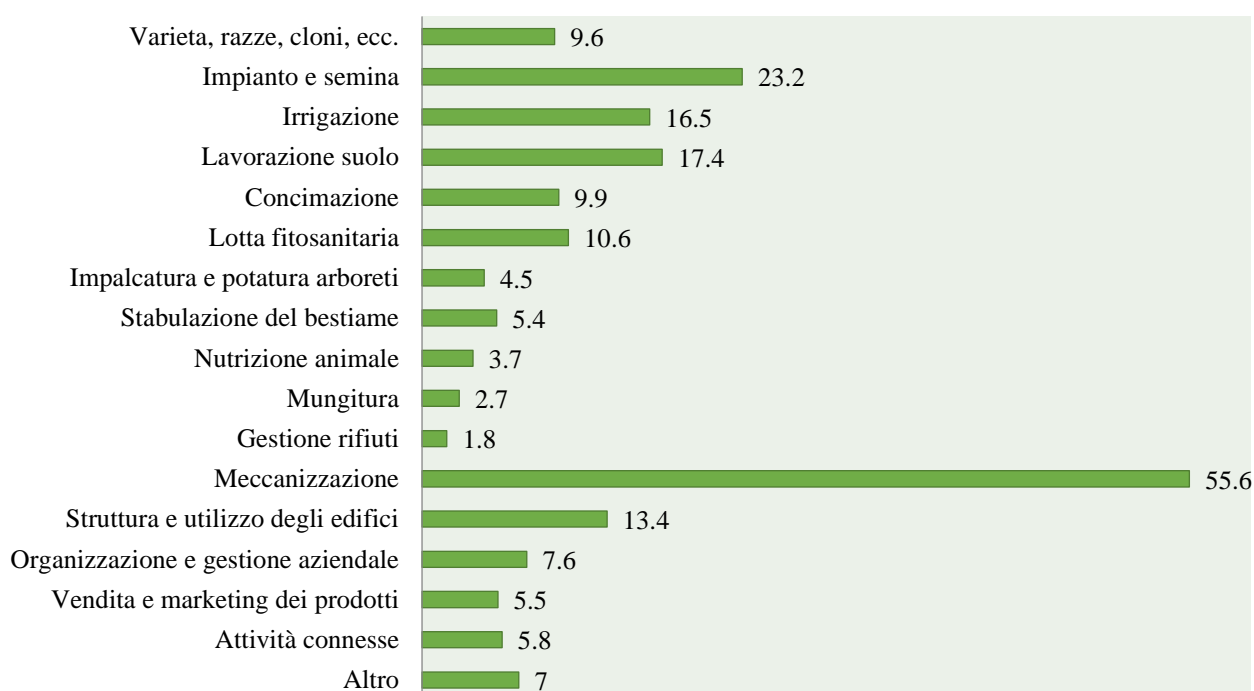


GRAFICO 2. AZIENDE CHE HANNO EFFETTUATO ALMENO UN INVESTIMENTO INNOVATIVO NEL TRIENNIO 2018-2020, PER FASE O AMBITO DI APPLICAZIONE. Incidenze percentuali (totale aziende agricole con almeno un investimento innovativo = 100) - Fonte: Istat

I maggiori investimenti sono andati alla meccanizzazione (55,6% delle aziende innovatrici), all'impianto e la semina (23,2%), alla lavorazione del suolo (17,4%) e all'irrigazione (16,5%). Innovazioni nella struttura organizzativa e commerciale (inscindibili da riorganizzazione aziendale interna anche del personale) ancora latitano (7,6% e 5,5% delle aziende che innovano).

A livello di ripartizione geografica, leader il Nord, sia nella ripartizione orientale (22,6%) sia in quella occidentale (21,7%): il doppio del dato del Centro (10,9%), quattro volte il Sud (5,4%), tre volte le Isole (7,1%). Da segnalare la Sardegna con un'incidenza di aziende innovative pari all'11,3%, molto oltre tutte le altre regioni del Mezzogiorno. Sopra la media nazionale le Bolzano (45,6%) e Trento (32%), Piemonte (23,2%) e Emilia-Romagna (22,2%). Nelle ultime posizioni Basilicata (5,4%), Calabria (5,2%) e Puglia (4,7%).

Gli investimenti innovativi sono più diffusi tra le aziende che svolgono sia attività agricola sia attività zootecnica (+18,8%) rispetto a quella delle aziende con solo coltivazioni (+9%) e molto oltre le unità esclusivamente zootecniche (14,4%).

La presenza di aziende innovative quadruplica nel caso di aziende agricole multifunzionali (39,1%), in particolare per la silvicoltura (49,9%) e la produzione di energia rinnovabile (52,5%). Tra le aziende

che hanno effettuato investimenti innovativi nel triennio, oltre due su tre fanno parte di organizzazioni di produttori, reti di imprese o sono associate ad altre organizzazioni (65,4%). I dati forniscono una chiara indicazione tra propensione ad innovare e dimensione aziendale.

Nel triennio 2018-2020 nelle aziende con 10 ULA e oltre, l'incidenza delle aziende innovatrici (58%) supera quella delle aziende che non effettuano investimenti innovativi (42%). Nelle aziende tra 2 e 9 ULA la quota di aziende innovatrici è invece del 31,2% contro il 68,8% delle aziende che non innovano. Osservando la SAU, sempre nel triennio 2018-2020 hanno effettuato investimenti innovativi il 35,9% delle aziende con oltre 50 ettari di Superficie Agricola Utilizzata (SAU) contro il 21,3% di quelle con 10-50 ettari di SAU, dell'8,4% delle unità con 1-10 ettari e del 4,7% di quelle fino a un ha. Anche la dimensione in termini di Unità di Bestiame Adulto (UBA) incide molto sulla propensione all'innovazione.

Nel triennio 2018-2020, ha effettuato investimenti innovativi il 49,2% delle aziende con oltre 100 UBA contro il 22,6% di quelle con 10-100 UBA, il 14,1% delle unità con 1-10 UBA e il 9,6% di quelle con 0-1 UBA. Le aziende risultano più innovative se gestite da uomini, giovani e laureati.

I dati sembrano suggerire una maggiore propensione all'innovazione nelle aziende gestite da uomini rispetto a quelle gestite da donne (12,9% contro 6,9%), e sono per lo più i giovani leader ad aver avviato il processo di innovazione aziendale (22,9% per i capo azienda fino a 44 anni, contro 5,8% con capo azienda oltre 64 anni). L'istruzione sembra incidere molto sull'innovazione aziendale (per le persone con diploma di istruzione secondaria a indirizzo agrario l'incidenza dell'innovazione è al 23,9%, due volte il valore medio, e triplica nel caso di titolo di istruzione terziaria specializzato in materie agricole, 30%).

1.1.4 Gli effetti del Covid-19

Il Covid-19 ha avuto un impatto su tutte le attività produttive. Il settore agricolo è stato considerato come "essenziale" e non soggetto alle misure restrittive, per cui l'intera filiera agroalimentare è stata impegnata in prima linea per garantire le forniture alimentari alla popolazione. Il settore agricolo si è dimostrato resiliente dacché solo il 17,8% delle aziende agricole ha dichiarato di aver subito effetti dall'emergenza sanitaria da Covid-19.

Tra esse la riduzione della vendita dei prodotti aziendali (63%) è stata il maggior danno con effetti alquanto eterogenei sul territorio nazionale (le aziende colpite sono al 31,7% al Nord-ovest, al 23,7% al Nord-est e il 18,4% al Centro, decisamente inferiore l'incidenza al Sud, 12,7% e nelle Isole, 15,9%).

Le aziende agricole di maggiori dimensioni sono state maggiormente colpite dalla crisi pandemica: la percentuale di aziende con almeno 10 ULA che hanno dichiarato effetti dalla pandemia è stata del 58,8%, contro l'11,6% di quelle fino a 1 ULA.

Usando come indicatore dimensionale la SAU o le UBA il discorso non cambia (41,1% delle aziende con almeno 50 ettari di SAU che hanno dichiarato effetti dovuti alla pandemia contro il 9,1% di quelle con meno di 1 ettaro di SAU). Tra le aziende zootecniche, oltre una azienda con almeno 100 UBA su due ha subito effetti dalla pandemia, percentuale che scende al 15,5% per quelle con meno di 1 UBA.

L'incidenza delle aziende con allevamenti che hanno incontrato difficoltà (28%) è dieci punti percentuali superiore rispetto alla media complessiva. In particolare, sono state le aziende zootecniche che allevano prevalentemente bovini e bufalini a risentire di più degli effetti pandemici (30,2%). Le conseguenze della pandemia da Covid-19 sono state maggiormente percepite dalle aziende agricole multifunzionali. Infatti, ha dichiarato di aver subito effetti il 57,9% delle aziende che svolgono anche altre attività remunerative, in particolare le fattorie didattiche (78,9%) e gli agriturismi (73,4%), sulle quali ha influito la chiusura al pubblico dell'attività.

1.2 Alcune considerazioni specifiche sul settore agricolo nazionale, tra ripresa della pandemia e crisi internazionale nel contesto europeo

Nel 2021, i tre settori dell'agricoltura quali la produzione agricola e animale, la silvicoltura e la pesca non sono state contraddistinte dalla ripresa generalizzata del secondo anno di pandemie.

Le produzioni non strettamente agricole (come l'agriturismo), che più avevano subito il lockdown hanno registrato una ripresa, ma la stessa è stata compromessa dagli eventi climatici avversi che hanno penalizzato l'annata agraria.

La guerra in Ucraina ha annullato, poi, ogni possibile previsione: il rincaro delle materie prime energetiche e le difficoltà di approvvigionamento delle imprese, in aggiunta alle preesistenti strozzature all'offerta, potrebbero provocare conseguenze a lungo termine per il settore agricolo nazionale. Sono molteplici e differenziate le iniziative per il settore agricolo, avviate in risposta alla crisi pandemica, e più di recente a quella in Ucraina. La legge di bilancio 2022 prosegue il percorso di rafforzamento del sistema agroalimentare come sostegno alla crescita e alla competitività dell'economia nazionale. L'insieme degli interventi comprende investimenti per le imprese, le filiere, l'occupazione e la tutela dei prodotti, anche rivalutando disposizioni esistenti e applicando in maniera più estensiva gli strumenti della Politica Agricola Comune (PAC). Sul fronte delle dotazioni emergenziali, l'Italia vanta la sezione più consistente del Next Generation EU, la cui attuazione è ora entrata nel vivo. Tuttavia, il conflitto in Ucraina ha riportato alla luce il tema della sicurezza

alimentare, spingendo l'Unione Europea a chiedere la rivalutazione dei documenti di programmazione nazionali al fine rafforzare la resilienza dell'agricoltura e ridurre la dipendenza dall'estero relativamente agli input produttivi. I nuovi obiettivi prevedono l'aumento della produzione di energia rinnovabile e il rafforzamento di metodi di produzione più sostenibili.

Contestualmente, sono in fase di attivazione misure più stringenti per i mercati più colpiti, così come la ripresa dell'uso di terre a riposo, al fine di incrementare la produzione agricola e la riqualificazione del territorio nazionale.

A differenza delle altre attività di produzione o di scambio, la filiera produttiva di agricoltura, silvicoltura e pesca non è stata toccata dai divieti imposti al fine di contenere la diffusione del contagio dal momento che garantire la sicurezza alimentare è stata una delle priorità fondamentali dei governi e della Commissione europea.

Nonostante ciò, sono sorte delle problematiche relativamente alla logistica, per le restrizioni alla libertà di movimento, per la carenza di risorse umane (specialmente di immigrati, impossibilitati a raggiungere i luoghi delle produzioni stagionali) e per la discesa generalizzata del reddito dei consumatori.

Complessivamente è possibile asserire che l'agricoltura abbia conservato, nel biennio 2020-2021, quasi intatto il suo peso nella formazione della ricchezza nazionale dimostrando una capacità di resilienza che ha compensato la diminuzione delle attività secondarie e i servizi di supporto.

In particolare, nel 2021 il valore della produzione delle coltivazioni è cresciuto del 5,7 punti percentuale per via di forti rincari nei prezzi, che hanno sovracompensato il calo del 3,7% delle quantità prodotte.

Il risultato è stato decisamente migliore dell'anno precedente, ove il valore della produzione delle coltivazioni era cresciuto di quasi 4 punti percentuale con un incremento dei volumi pari all'1,6% e un aumento dei prezzi decisamente inferiore.

Sebbene il settore agricolo presenti un grado di resilienza decisamente marcato, è altrettanto vero che lo stesso non sia immune agli effetti generati dalle crisi economiche. A prova di ciò è possibile verificare come alle fasi di recessioni corrispondano generalmente rinforzamenti di asimmetrie presenti lungo la l'intera filiera agroalimentare, che riflettono il diverso potere contrattuale di quanti vi operano, traducendosi in un peggioramento della ragione di scambio degli agricoltori e, dunque, della redditività della loro attività d'impresa. Il disequilibrio tra i prezzi della produzione agricola e i prezzi dei consumi intermedi pone seri vincoli allo sviluppo e alla stabilizzazione dei già ridotti redditi agricoli. Il riequilibrio dei prezzi dei prodotti agricoli rispetto a quelli degli input produttivi appare quindi come una delle priorità settoriali, evidenziando la debolezza della componente agricola all'interno della filiera agro-alimentare.

Nonostante l'andamento non favorevole dei prezzi relativi appena citati, gli operatori agricoli sono spesso riusciti a utilizzare in modo appropriato lo strumento della diversificazione e riconversione delle attività, orientando lo scenario in modo da ottimizzare il rapporto tra input e output, ampliando da un lato il paniere dei prodotti, agendo su qualità e prodotti certificati, e dall'altro i servizi connessi e aggiuntivi, come dimostrato dalla progressiva crescita delle attività di supporto e secondarie.

Focalizzando l'attenzione sul 2020 e alle difficoltà legate alla crisi sanitaria, l'economia agricola europea ha dimostrato, complessivamente, una notevole capacità di resilienza e le ripercussioni sono risultate contenute. Decisivo nel più recente 2021 è stato il ruolo giocato dall'andamento dei prezzi alla produzione che, spinti essenzialmente dal robusto aumento dei costi degli input intermedi, sono risultati in generale sensibile aumento per tutte le tipologie di produzioni, con un picco raggiunto da olio d'oliva, cereali e piante industriali. Anche il comparto zootecnico ha fatto registrare sensibili aumenti dei prezzi alla produzione, ad eccezione di quelli delle carni suine.

L'indicatore A di reddito agricolo, che misura la produttività del lavoro in agricoltura, è cresciuto dell'1,5% a livello Ue27 ma, tra i principali Stati membri, solo Romania (+28%) e Francia (+16,3%) hanno fatto registrare una crescita rilevante, mentre tutti gli altri sono risultati in negativo (Polonia -18,9%, Germania -10,8%, Spagna -5,2%, Grecia -3,3%, Paesi Bassi -2,8% e Italia -1,6%).

1.3 Sostegno e rilancio dell'agricoltura nazionale: le misure del PNRR per il settore primario

I Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza (PNRR) [2] nascono come strumento di risposta alla pandemia e agli effetti socioeconomici negativi scaturiti dalla crisi sanitaria dovuta al Covid-19.

L'aggravarsi di questo contesto ha fatto emergere rapidamente la necessità di rafforzare il quadro normativo vigente in termini di sostegno agli Stati membri e ciò è stato reso possibile con l'introduzione di un nuovo strumento finanziario: il Next Generation EU (NGEU). Il piano conta su una dotazione di 750 miliardi di euro (considerati a prezzi 2018), cui circa poco più della metà sono a fondo perduto mentre la restante parte assume la forma di prestito.

Gli impatti di questo fenomeno pandemico sono stati differenti per gli Stati Membri, dipendenti dalla diversa diffusione e intensità della crisi sanitaria nei rispettivi contesti nazionali aventi solidità macroeconomiche piuttosto variegata.

Volgendo lo sguardo verso il nostro Paese, l'Italia è la prima beneficiaria di fondi seguendo i cosiddetti criteri oggettivi di assegnazione che tengono conto di parametri quali l'intensità di sviluppo della crisi sanitaria, la popolazione, il Pil pro-capite e la disoccupazione.

Parallelamente a quanto previsto, la situazione incerta generata da conflitto in Ucraina potrebbe far insorgere questioni legate alla sicurezza alimentare e a quella energetica.

Per quanto concerne il settore agricolo, gli Stati Membri avranno l'obbligo di orientare le diverse misure di sostegno (come, ad esempio, la Politica Agricola Comune, PAC) verso una prospettiva volta a rafforzare la resilienza del settore primario, consolidando aspetti quali l'indipendenza energetica da fonte rinnovabile, la riduzione della dipendenza estera di fertilizzanti sintetici e lo sviluppo di metodi produttivi più sostenibili.

Al fine di rendere possibile quanto sopra citato, a livello UE sono in corso particolari interventi volti a rivalorizzare terre a riposo aumentando, in tale maniera, la dotazione di superficie agricola potenzialmente utilizzabile.

A tal riguardo, la riqualificazione di terreni agricoli dismessi potrebbe rappresentare una valida soluzione alla scelta di installare impianti per la produzione di energia innovabile, quali il sistema agrivoltaico, che se posto sul suolo agricolo non comprometterebbe la resa delle colture e, in aggiunta, potrebbe offrire una diversificazione del rischio pensando ad annate difficili per l'agricoltura, in termini di guadagni generati dalla vendita di energia elettrica.

1.3.1. Obiettivi e struttura del PNRR nazionale verso l'orizzonte della sostenibilità

Volendo presentare una panoramica identificativa ed esaustiva, il PNRR italiano assume la forma di sei Missioni, ossia aree a tema di intervento che rappresentano contesti in cui disporre piani di investimento e riforme in linea con la strategia del Paese.

La Missione 2, di particolare interesse per il sistema agroalimentare, detiene la quota più consistente di risorse economiche stanziata dal Piano con una percentuale del 31% ed è volta all'attuazione della Rivoluzione Verde e Transizione ecologica.

Il MiPAAF, quale soggetto proponente del settore agricolo, finanzia direttamente progetti di politiche agricole, alimentari e forestali che contribuiscono alla crescita economica del settore, con effetti riscontrabili sull'intero contesto socioeconomico del Paese.

Per il settore primario sono destinati progetti per un budget di 4,88 miliardi di euro che vanno a sommarsi alle risorse già previste nella PAC 2023-2027.

Sebbene non esauriscano al meglio le opportunità del settore agricolo, gli interventi di competenza del Ministero inerenti alla Missione 2 sono cinque, divisi a loro volta in Componenti ed aree di investimento.

Ai fini dello studio che verrà mostrato in seguito, si ritiene interessante citare la M2C1 (Economia Circolare e Agricoltura Sostenibile) e la M2C4 (Tutela del territorio e della risorsa idrica).

A queste misure si aggiungono, poi, interventi di particolare rilevanza per il settore presentati o supportati congiuntamente da altre amministrazioni, quali il progetto di potenziamento del monitoraggio satellitare a fini ambientali e di tutela del territorio, sviluppo di fonti di energia rinnovabile da scarti agricoli (biometano) e da fonte solare quali il già citato sistema agrivoltaico.

La Missione 2 Componente 1 - investimento 2.2 ha lo scopo di incentivare la creazione del cosiddetto "Parco Agrisolare". Questo è identificabile in una misura che si prefigge di incentivare la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (l'energia solare) tramite l'ammodernamento dei tetti degli edifici ad uso produttivo nei settori agricolo, zootecnico e agroindustriale, volgendo dunque lo sguardo verso l'orizzonte della sostenibilità (intesa in tutte e tre le sue dimensioni: ambientale, sociale ed economica) e della transizione verde, nonché efficienza energetica, del settore.

Il progetto promuove l'installazione di pannelli fotovoltaici, sfruttando i tetti degli edifici produttivi sostituendo, al contempo, le coperture non idonee (rivestimenti in eternit/amianto) migliorando la coibentazione e l'isolamento termico.

La misura mira a creare, dunque, una rete di impianti fotovoltaici diffusa sul territorio, senza l'occupazione del suolo, con la visione ultima di accrescere quella che si definisce "efficienza energetica" e la transizione verso l'autoconsumo di energia da fonte rinnovabile.

Con uno sguardo di più ampia veduta, è giustificabile attendersi che questa misura si ponga l'obiettivo ultimo di accrescere la competitività delle aziende agricole, per lo più PMI in Italia, riducendo i costi di approvvigionamento energetico che, ad oggi, rappresentano uno scalino non indifferente per il settore.

L'intervento, con dotazione finanziaria pari a 1,5 miliardi di euro, mira a coprire entro il 2026 una superficie complessiva pari a 4,3 milioni di mq con una potenza complessiva installata sul territorio di 0,375 GW circa.

In parallelo alla misura "Parco Agrisolare", il PNRR prevede lo stanziamento di 1,10 miliardi di euro per l'installazione di impianti agrivoltaici che sullo stesso principio di cattura di energia solare come avviene per la tecnologia fotovoltaica, ma diversamente per quanto riguarda l'impiego del suolo che avviene in questo caso, accrescerebbero la produzione di energia elettrica da immettere in rete salvaguardando la resa delle colture agricole, talvolta accrescendola.

Un focus sull'importanza di questa tecnologia in fase di sviluppo verrà trattata nei paragrafi successivi con un livello di dettaglio maggiore.

La Missione 2 Componente 4 – investimento 4.3 punta alla resilienza dell'agro-sistema irriguo per una migliore gestione delle risorse idriche.

Analizzando il fenomeno da punto di vista socio-economico-ambientale-sociale, l'acqua rappresenta la fonte primaria di ogni processo produttivo.

Dal punto di vista economico, il prezzo di acquisto dell'acqua d'irrigazione rappresenta un costo fisso non indifferente per la PMI agricola, soprattutto se posto in relazione agli ettari posseduti.

Sotto il profilo ambientale, noto ma non meno degno di essere ribadito, il problema dell'assenza di precipitazioni che sta interessando, già dal gennaio 2022 secondo i dati ISAC/CNR³, specialmente le zone del Nord-Ovest d'Italia. Il fenomeno della siccità, che dapprima ha colpito l'Italia del Nord, e in particolare il distretto idrografico del Fiume Po, si è progressivamente esteso verso il Centro e il Sud del Paese.

Tenendo conto dei cambiamenti climatici in atto si stima, a livello nazionale, una riduzione della disponibilità di risorsa idrica che oscilla fortemente tra il 10 e il 40%.

Il problema della carenza idrica non ha, in realtà, un carattere di straordinarietà ma è ormai un fattore consolidato e ricorrente, costantemente incluso nelle politiche nazionali.

Attraverso la M2C4 - inv.4.3 (vedi sopra), il MiPAAF si sta tentando di risolvere una questione già sul mirino da tempo, promuovendo da un lato un utilizzo sempre più efficiente di acqua, e dall'altro garantendo una maggiore e più costante disponibilità della risorsa ai fini irrigui [3]. Nell'ambito della Misura, si gode di una dotazione di 880 milioni di euro, di cui circa 520 per nuovi progetti e 360 per il proseguimento di investimenti già intrapresi tramite risorse nazionali. Gli interventi dovranno essere spalmati su un arco temporale di breve-medio periodo, al fine di fornire un supporto tempestivo, con una timeline molto stringente per poter garantire gli appalti nel prossimo 2023 e la realizzazione dei lavori entro il 2026.

Infine, volgendo l'attenzione sul più vasto aspetto sociale, la carenza d'acqua sta mettendo a dura prova il benessere dell'intero Paese, con gravi disagi per le aziende, nonché per i cittadini nel senso più ampio. L'agricoltura essendo, infatti, direttamente coinvolta nei fenomeni ambientali, genera un impatto diretto su quantità e prezzi degli alimenti sul mercato dovuti al costo delle materie prime, quali appunto l'acqua.

È interessante soffermarsi, dunque, non molto su un aspetto puramente individualistico e di settore ma considerare che impatti questi fattori possono, o potrebbero, scaturire a livello macro.

³ L'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima e il Centro Nazionale di Ricerca hanno confermato, per il 2022, precipitazioni dimezzate a livello nazionale rispetto alle medie del periodo, con un deficit del quasi 50%.

La Politica Agricola Comune (PAC) assume la forma di strategia complessiva di intervento per il settore agricolo e le aree rurali. Attuata mediante i cosiddetti Piani Strategici nazionali della PAC (PSP), la strategia usufruisce di strumenti messi a disposizione per il supporto al settore quali pagamenti diretti, interventi settoriali e politica di sviluppo rurale.

L'obiettivo dei Piani si definisce nel contesto di crescita del settore agroalimentare e forestale assicurando, mediante misure non considerate nelle PAC più datate, la sostenibilità ambientale, economica e sociale. Gli interventi possibili sono consultabili nell'Annuario dell'Agricoltura Italiana 2020 redatto dal Centro di Ricerca per l'agricoltura e l'economia agraria (CREA) [4] e seguono una logica di integrazione che lavora in sinergia con le misure del PNRR al fine di dare adempimento a quelli che sono gli obiettivi strategici dei documenti unionali (per riportare un esempio basti citare il Green Deal Europeo con la strategia "Farm to Fork"⁴ [5] per un sistema alimentare equo, sano e sostenibile), soddisfacendo i fabbisogni e le priorità del settore agricolo. Come visto nel paragrafo precedente, infatti, il PNRR finanzia progetti che rappresentano passaggi fondamentali volti al miglioramento della competitività e sostenibilità del sistema agroalimentare, a favorire l'organizzazione della filiera e a rafforzare le connessioni fra produttori e consumatori. In questo modo, il PNRR contribuisce in modo rilevante a soddisfare esigenze e priorità individuate nel PSP italiano, rappresentando un'occasione unica per consentire al sistema agricolo di esprimere il contributo che lo stesso settore può offrire al rilancio economico del Paese.

La sinergia tra le misure predisposte dal PNRR e gli interventi attuabili dalla PAC al fine di soddisfare gli obiettivi strategici unionali possono essere riassunti come in Tabella 1:

⁴ Il legame tra persone sane, società sane e un pianeta sano pone i sistemi alimentari sostenibili al centro del Green Deal europeo, la strategia dell'UE per una crescita sostenibile e inclusiva. È concepito per stimolare l'economia, migliorare la salute e la qualità della vita dei cittadini e tutelare la natura. Più nello specifico, la strategia "Farm to Fork" - Dal produttore al consumatore- mira ad accelerare la transizione verso un sistema alimentare sostenibile che dovrebbe avere un impatto ambientale neutro o positivo, contribuendo a mitigare il cambiamento climatico, garantire la sicurezza alimentare e preservare l'accessibilità economica degli alimenti generando allo stesso tempo ritorni economici più equi, promuovendo la competitività del settore dell'approvvigionamento dell'UE e il commercio equo.

OS	PAC		PNRR e Fondo Complementare	
	Raccomandazione	Esigenza	Investimenti	
OS3 Migliorare la posizione degli agricoltori nella catena del valore	CE1.3 Migliorare la posizione degli agricoltori nella filiera alimentare	E1.6 Promuovere i processi di integrazione e aggregazione delle imprese e dell'offerta	Fondo Complementare	Contratti di Filiera e di distretto per produzioni sostenibili
OS2 Aumentare la competitività	CE1.3 Migliorare la posizione degli agricoltori nella filiera alimentare	E1.5 Rafforzare la qualità e l'accessibilità alle reti di infrastrutture	M2C1 I.2.1	Sviluppo logistica per i settori agro-alimentare, pesca e acquacoltura, silvicoltura, floricoltura e vivaismo
OS4 Agire per contrastare i cambiamenti climatici	CE2.2 Rallentare il cambiamento climatico e ridurre le emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici	E2.3 Incentivare la produzione e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili	M2C1 I.2.2	Parco Agrisolare
		E2.10 Promuovere l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari	M2C1 I.2.3	Innovazione e meccanizzazione nel settore agricolo ed alimentare
	CE2.3 Favorire l'adattamento al cambiamento climatico e la resilienza incentivando la gestione sostenibile dei terreni agricoli e forestali	E2.13 Efficientare e rendere sostenibile l'uso delle risorse idriche	M2C4 I.4.3	Investimenti nella resilienza dell'agrosistema irriguo per una migliore gestione delle risorse idriche

TABELLA 1: LA COMPLEMENTARITÀ TRA LA PAC 2023-2027 E IL PNRR - Fonte: Annuario dell'Agricoltura Italiana 2020, VOL LXXIV, CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria.

Gli interventi previsti nel Piano Nazionale mirano a dare attuazione, insieme agli obiettivi inseriti nella PAC, al rilancio economico del settore in un'ottica di strategia integrata.

Le integrazioni illustrate in figura, infatti, mettono in luce come i progetti destinati al settore primario siano perfettamente in linea con gli obiettivi generali della Politica Agricola Comune. Ricordando le Misure del PNRR analizzate nel par. 1.3.1 nel contesto del settore primario, enfatizziamo la presenza in figura di obiettivi rivolti al contrasto dei cambiamenti climatici (Obiettivo specifico 4, PAC) che incentiva la produzione di energia da fonti rinnovabili (esigenza 2.3), attraverso la realizzazione del Parco Agrisolare che rappresenterebbe (vedi sopra) la M2C1-investimento 2.2 del PNRR. Allo stesso Obiettivo specifico fa capo, per di più, la realizzazione nel PNRR di investimenti nella resilienza dell'agrosistema irriguo per una migliore gestione delle risorse idriche (M2C4 – investimento 4.3) di cui si è approfondita precedentemente l'importanza della gestione sostenibile e l'efficientamento.

Nella Tabella sono presentati, infine, tutti gli altri principali interventi in cui i due Piani (PAC con gli Obiettivi Specifici e PNRR mediante investimenti) si integrano tenendo conto anche delle raccomandazioni CE e delle esigenze della Politica.

Gi interventi previsti nel PNRR contribuiscono, inoltre, alle cosiddette “transizioni gemelle”, quella verde e digitale, puntando ad un incremento della produzione di energia rinnovabile, nonché alla competitività del settore in un’ottica di sostenibilità e resilienza. Questi traguardi evidenziano il fabbisogno di conseguire una maggiore sicurezza alimentare ed energetica all’interno del nostro Paese alla luce anche della mutata situazione internazionale, come accennato precedentemente, legata al conflitto in Ucraina.

1.3.4. Nuove misure per rispondere alla crisi in Ucraina

Il conflitto acceso in Ucraina ha già mostrato ripercussioni sulle molte attività aziendali del settore primario in Italia, specialmente in relazione all’aumento dei costi di produzione (si pensi ai carburanti, fertilizzanti e prodotti fitosanitari, mangimi e sementi). La controparte Russa rappresenta per il nostro Paese uno dei principali fornitori di petrolio e gas che hanno subito un notevole aumento dei prezzi a causa delle sanzioni applicate con effetto immediato sia sui mercati dei prodotti alimentari sia su quelli dei mezzi applicati in agricoltura. Sono stati registrate, inoltre, criticità legate all’approvvigionamento di input produttivi, quali cereali e semi oleosi, con ricadute dirette sull’alimentazione del bestiame che ha rappresentato uno dei principali comparti a subire gli effetti negativi della crisi. A fronte di questa tragica situazione, la Commissione Europea ha inizializzato pratiche agro-ecologiche volte a sviluppare, a livello di settore, la cosiddetta “agricoltura di precisione” che garantirebbe una diminuzione della dipendenza dall’importazione di pesticidi mediante monitoraggio tempestivo della coltura e sistemi di riduzione della sostanza impiegata e, a livello di Paese, il potenziamento della produzione energetica da fonte rinnovabile. La crisi economica generatasi ha reso necessaria l’adozione di misure eccezionali, a livello europeo, destinate principalmente ai settori più colpiti che in Italia coincidono con quello zootecnico e lattiero-caseario. Relativamente ai contributi PAC, a partire dall’ottobre 2022 ogni Paese membro UE potrà erogare un livello fino al 70% più alto rispetto a quello spettante a ciascun beneficiario di anticipi nei pagamenti diretti e nelle misure rivolte allo sviluppo rurale al fine di sostenere la liquidità delle aziende e ridurre i costi che gravano su di esse. In parallelo, il PNRR mira ad accelerare la realizzazione della diversificazione energetica offrendo un’opportunità di superamento degli effetti socioeconomici determinati dalla Guerra. Gli investimenti relativi alle diverse Misure del Piano di Resilienza sono perfettamente in linea con gli obiettivi della strategia Farm to Fork, per il rafforzamento delle filiere, e più in generale con gli obiettivi stabiliti nel Patto Verde⁵, volti a rendere il nostro Pianeta ad impatto

⁵ Per Patto Verde si faccia riferimento al Green Deal Europeo.

climatico zero entro il 2050. La Misura del PNRR M2C1-investimento 2.2 “Parco Agrisolare” che prevede l’installazione di pannelli fotovoltaici è l’esempio più concreto di quanto appena citato: mira a ridurre gli alti consumi energetici del settore agroalimentare, rafforzando contemporaneamente l’indipendenza energetica del Paese.

1.4 Il livello di sostenibilità delle imprese nel settore primario

L’agricoltura italiana mostra un ruolo insostituibile nel processo di transizione ecologica del Paese ed è sempre più forte la consapevolezza che solo attraverso la ricerca & sviluppo e gli investimenti che portano a un minor utilizzo di input ambientali, sarà possibile immaginare uno scenario decisamente migliore. Il Rapporto AGRIColtura100 2022⁶ [6] fornisce un quadro completo ed interessante riguardo la consistenza delle imprese agricole e il loro impegno a migliorare la sostenibilità ambientale, sociale ed economica della propria attività e del contesto in cui operano. L’indagine non si limita a censire le iniziative di sostenibilità attuate dalle imprese per rilevarne la diffusione nel tempo ma vuole anche contribuire a diffondere la cultura e il metodo della misurazione della sostenibilità mediante una corretta valutazione degli impatti. A questo scopo, AGRIColtura100 ha costruito un modello di misurazione adatto ad imprese di diverse dimensioni e attività produttive, capace di rilevare in dettaglio gli sforzi e i livelli di sostenibilità che hanno raggiunto. Si tratta di una sostenibilità che non include, come detto, il solo aspetto ambientale bensì fattori quali la sicurezza alimentare, la responsabilità sociale verso il lavoratore e l’impegno nella salvaguardia del patrimonio aziendale sia dal punto di vista economico, sia dal punto di vista dei rischi ambientali dai quali è minacciato specialmente quando parliamo di settore primario. In questa direzione, la sostenibilità è vista come valore guida per la ripresa del settore, orientando le strategie verso modelli di produzione e consumo adatti a correggere i disequilibri sociali, ambientali ed economici che si riflettono sul nostro Paese. Il rapporto si basa su dati raccolti nel 2021 che hanno coinvolto oltre 2.100 aziende agricole, mostrando un impegno di partecipazione di quasi venti punti percentuale in più rispetto all’annata precedente, distribuite uniformemente in tutto il territorio nazionale e differenziate per settori di attività.

⁶ AGRIColtura100 è un progetto pluriennale voluto da Reale Mutua e Confagricoltura che promuove il contributo dell’agricoltura alla crescita sostenibile dell’Italia. La ricerca ha assunto la forma di un’indagine riguardo l’impegno delle aziende agricole italiane nei diversi ambiti della sostenibilità (ambientale, sociale ed economica) e ha evidenziato come, rispetto alla precedente edizione 2021, sia aumentata l’importanza attribuita alla sostenibilità ambientale e sociale e all’innovazione tecnologica delle imprese agricole italiane.

Il progetto premia, inoltre, l’impegno delle imprese che vogliono accrescere la propria competitività, permettendo loro di individuare le diverse aree di miglioramento in ottica di quelli che sono gli obiettivi dell’Agenda 2030.

L'indagine ha rilevato che, nonostante la fase di recessione dovuta all'emergenza sanitaria da Covid-19, per gli imprenditori agricoli italiani è aumentata la consapevolezza riguardo sia l'importanza della sostenibilità nei contesti ambientali, sia relativamente alla gestione del rischio e delle relazioni di filiera. Le imprese con un livello medio-alto ed elevato di sostenibilità hanno scalato un punto percentuale, passando dal 48,1 al 49,1%. Più significativo è il risultato emerso per le attività il cui livello di sostenibilità ancora limitato è sceso dal 17 al 12,7%. Intermedia tra i due, l'oscillazione della fascia di livello medio che è passata da quasi il 35% al 38,2% (Grafico 3).

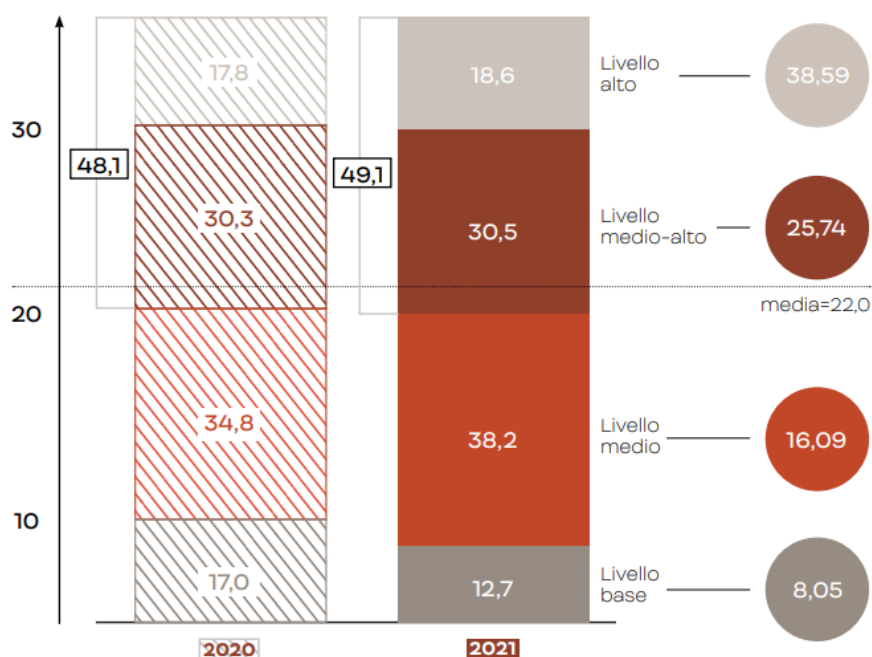


GRAFICO 3. IMPRESE AGRICOLE PER LIVELLO DI SOSTENIBILITA' - Quota % di imprese –
Fonte: Rapporto AGRicoltura100 2022, Reale Mutua - Confagricoltura.

Gli ambiti in cui sono stati più diffusi gli interventi hanno riguardato la gestione della risorsa idrica, del suolo e della produzione di energia. La risposta alla crisi internazionale ha scaturito un aumento decisivo dei costi legati all'energia e alle materie prime che, sulle imprese agricole, ha un impatto doppiamente negativo dal momento che accusano la minaccia della concorrenza estera a mantenere basso il livello dei prezzi. Ciò nonostante, i dati del rapporto indicano che in linea generale la sostenibilità rappresenta un fattore trainante per la tenuta e la crescita. Mettendo a confronto gli anni 2019 e 2020 le imprese che sono cresciute maggiormente a livello di fatturato sono per lo più quelle in cui si annoverano i principi della sostenibilità. Inoltre, dal rapporto si evince una conduzione di impresa in chiave sostenibile principalmente da parte femminile, in controtendenza rispetto alla quota

generale di imprese presenti nel settore che mostrano una presenza nel ruolo manageriale del sesso opposto.

La forzata e obbligatoria gestione della crisi sanitaria da Covid-19 ha rafforzato la cultura della sostenibilità all'interno del contesto settoriale. Nonostante le difficoltà, quasi il 90% delle imprese hanno sostenuto investimenti negli ultimi due anni puntando all'innovazione in chiave sostenibile: dall'aggiornamento delle dotazioni informatiche e digitali per il monitoraggio, ad esempio, dello stato vegetativo e climatico, la meccanizzazione delle tecniche di coltivazione e allevamento, passando infine per la diminuzione del rischio d'impresa mediante la diversificazione delle attività. La sostenibilità è fortemente correlata all'innovazione ed oggi più che mai un'impresa che vuole trovare il proprio spazio nel mercato globale deve garantire al consumatore finale non soltanto elevati standard qualitativi inerenti alla sicurezza alimentare ma anche un surplus di standard ambientali dimostrabili attraverso certificazioni di prodotto e di processo o con l'ausilio di certificazioni sulla tracciabilità lungo la filiera cui potrebbe correre in ausilio la cosiddetta tecnologia blockchain.

Ci troviamo di fronte a profondi cambiamenti di tipo sociale ed economico che stanno plasmando le caratteristiche strutturali del settore primario; l'Italia è il Paese che registra attualmente uno tra i valori aggiunti maggiori riguardo la produzione di derivazione agricola ed è questo il fattore da cui è fondamentale trarre valore per la ripartenza del settore. È bene ricordare come l'agricoltura, da inizio pandemia a questa parte, abbia tenuto salde le proprie radici garantendo l'approvvigionamento alimentare ai cittadini non soltanto entro i confini nazionali.

Il PNRR, con le diverse Misure precedentemente analizzate e le restanti altre, rappresenta la guida pratica per il rinnovamento del sistema Paese, mettendo insieme tecnologia, innovazione e coesione sociale verso un modello di sviluppo sostenibile. Per il settore primario sono stati investiti nel complesso quasi 8 miliardi di euro in progetti che vedono tra i primi posti gli incentivi destinati alle agro-energie, alla meccanizzazione delle macchine agricole, alla riduzione della risorsa idrica mediante la costruzione, o l'ammodernamento, di sistemi irrigui innovativi che consentiranno un utilizzo più razionale della stessa. Anche nella legge di Bilancio 2022 il tema della sostenibilità assume una posizione centrale. Oltre ai 2 miliardi di euro investiti, è stato introdotto un programma per la gestione del rischio mediante l'istituzione del Fondo mutualistico nazionale a copertura dei rischi da catastrofe che sono tipicamente riscontrabili in questo settore come conseguenza dei cambiamenti climatici.

Il tema dello sviluppo sostenibile in agricoltura, così come nelle restanti attività del Paese, rappresenta la grande sfida verso un futuro più prospero. È necessario che la prospettiva sia di carattere sistemico, che giochi dunque su dimensioni differenti tra di loro ma strettamente interconnesse: uno sviluppo che osservi contemporaneamente le dinamiche ambientali, dell'economia e della società.

1.5 Energia e Agricoltura - Alcune prospettive sull'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili nel settore agricolo

I dati riferiti all'anno 2020 [7] stimano una produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili di circa 117 GWh, in aumento di quasi dieci punti percentuali rispetto all'annata precedente. Le fonti che detengono la quota più significativa rispetto al totale sono quella idroelettrica e il solare, in entrambi i casi con un andamento significativamente in crescita.

In particolare, l'andamento più che crescente della produzione di energia da fonte solare ha una correlazione con le condizioni di irraggiamento che sono state più favorevoli nel 2020 rispetto al 2019, stimando una produzione di energia pari a quasi il 25.000 GWh. Al contrario, la performance degli impianti eolici risulta in contrazione del 7% rispetto al 2019, con un valore che non si discosta molto dal dato solare pari a 18.762 GWh. Gli impianti alimentati da bioenergie e geo-termoelettrica confermano, invece, il loro andamento. In particolare, le bioenergie presentano una resa di circa 19.563 GWh, valore che rappresenta il 16% della generazione elettrica complessiva da FER.

Nei paragrafi successivi verranno presentate le principali fonti di energia rinnovabile che interessano il settore primario, a partire dalle agroenergie derivanti dai processi strettamente agricoli fino a sistemi più complessi utilizzabili in agricoltura, quali l'agrivoltaico che per scelta e per interesse di investimento verrà approfondito come caso studio.

1.5.1 Agroenergie

La potenzialità energetica ricavata dall'attività agricola viene comunemente definita con il termine "agroenergia", identificando in essa i biocarburanti (biodiesel e bioetanolo) e l'energia ricavata dalle biomasse sottoforma di biogas, elettricità o energia termica.

Le agroenergie sono senza dubbio risorse energetiche rinnovabili ma non per questo identificabili sempre come pulite o eco-friendly. Specialmente quando parliamo di biocarburanti i dibattiti non mancano; si osservi come questa fonte di energia agricola sta radicalmente modificando lo scenario attuale soprattutto quando si parla di *land grabbing* e sfruttamento del terreno agricolo⁷.

⁷ In alcuni Paesi del Terzo Mondo, con la produzione dei biocarburanti, molti terreni fertili prima usati a scopo alimentare, sono stati destinati alla coltivazione di vegetali a uso energetico. Le ripercussioni sono state molteplici

In numeri, la produzione lorda di energia elettrica proveniente dai processi agricoli è variata lievemente in positivo passando dai 19.563 GWh del 2019 ai 19.634 del 2020. In percentuale, questi valori rappresentano il 16,8% della generazione elettrica complessiva da rinnovabile.

Le agroenergie costituiscono attualmente in Italia una tra le più importanti fonti energetiche rinnovabili per via dell'ampia disponibilità delle materie prime e, specialmente, perché potenzialmente forniscono elettricità, calore e biocarburanti mediante tecnologie ormai affidabili. Al pari delle altre risorse, però, anche le materie prime di origine naturale, pur se identificabili come rinnovabili, non sono inesauribili e ciò significa che occorre necessariamente procedere con un ritmo che non vada ad alterare gli ecosistemi e che rispetti il tempo di rigenerazione della risorsa, senza dunque compromettere l'uso del suolo agricolo per la produzione ostentata di alimenti e mangimi.

In termini più sintetici, l'uso a fini energetici deve necessariamente adempiere a quelli che sono i principi della sostenibilità. L'elemento critico di questa forma di produzione energetica è dunque l'approvvigionamento: i biocarburanti sono prodotti per la maggior parte da colture dedicate, nonostante vi siano sistemi a impatto minore (come per i biocarburanti "avanzati") che sfruttano le biomasse residuali o sottoprodotti di origine biologica quali scarti da attività agricola, allevamento e agroindustria. Convertire le biomasse in energia o in prodotti energetici (quali appunto biocarburanti) è possibile mediante diverse tecnologie e secondo diverse scale dimensionali di impianto. Le tipologie più diffuse nel nostro territorio sono gli impianti a biogas di piccola taglia o piccoli impianti di combustione o gassificazione alimentati con residui di colture arboree o altre potature. È necessario sviluppare una maggiore efficienza negli impianti per convertire le biomasse legnose in energia, al fine di raggiungere la massima produzione energetica con le minime dimensioni d'impianto e valori più razionali possibili di risorse da impiegare.

La tecnologia maggiormente impiegata e potenzialmente di maggior interesse per la produzione di energia da queste fonti è la digestione anaerobica, un processo biochimico mediante il quale la sostanza organica viene decomposta e trasformata in biogas.

Gli impianti che realizzano questo processo generano altresì benefici economici di tipo occupazionale legati alla realizzazione e gestione dell'impianto stesso, alla produzione, raccolta e trasporto della biomassa per alimentare il processo stesso. Tenendo conto che la vita utile delle strutture è

e anche gravi: da un lato, in alcune località si è assistito all'aumento dei prezzi dei beni alimentari e dall'altro si sono innescati forti squilibri nei Paesi meno sviluppati.

generalmente di almeno venti anni, i posti di lavoro che si generano contribuiscono in modo positivo alla crescita socio-economica del territorio.

Aggiungendo al lato economico l'interesse per l'ambiente, la produzione di biogas rappresenta inoltre lo sviluppo di un modello virtuoso di economia circolare che chiude il proprio cerchio con la restituzione al suolo della sostanza organica, il cosiddetto "digestato", quella parte che non viene trasformata in metano o CO₂ durante la digestione anaerobica e che dunque viene rilasciata come residuo. Questa sostanza ha delle proprietà ammendanti e fertilizzanti decisamente migliori rispetto a quelle del letame o altri residui organici impiegati come tali e contribuisce alla riduzione dell'impiego di sostanze chimiche di sintesi tipicamente utilizzate in questi contesti. Rimanendo nel contesto dimensionale della sostenibilità esistono, oltre a quello economico e ambientale, altri vantaggi di carattere sociale: tenuto conto che le emissioni sono trascurabili o comunque inferiori a quelle che si avrebbero spandendo il letame sui campi, questa tecnologia presenta dei rischi molto bassi per il territorio e la salute degli abitanti.

Lo studio condotto è il risultato di un lungo processo di interazione e confronto con realtà imprenditoriali agricole presenti sul territorio. Maccaresse S.p.A., società agricola Benefit che opera sul litorale romano, nonché una delle realtà imprenditoriali più grandi in Italia, ha fornito supporto a questa ricerca mediante incontri frequenti in cui si è discusso, con il responsabile impianti biogas, riguardo costi e benefici inerenti a questa tecnologia.

L'azienda possiede due impianti a biogas, uno da 625 kW/h e un altro da 999 kW/h. I principali vantaggi oggetto di dibattito sono stati fondamentalmente quelli sopra citati, legati alla sfera dello sviluppo equo e sostenibile, con un'aggiunta di carattere sociale secondo la quale la caratteristica olfattiva del digestato, esente dal male odore tipico del concime naturale proveniente dalle deiezioni animali, fosse maggiormente accolto dalla comunità locale. Molto più interessante è stato, invece, il confronto avuto relativamente ai costi sostenuti per il mantenimento in vita dell'impianto. Nelle righe precedenti si è parlato dei benefici economici riscontrabili in termini occupazionali. Questo concetto è importante e veritiero ma deve necessariamente essere confrontato con i costi di O&M relativi all'impianto.

Da un punto di vista sociale, è giusto riconoscere che la tecnologia sottoscritta crea posti di lavoro lungo l'intera filiera, dalla costruzione dell'impianto alla manodopera necessaria per la coltivazione degli input di processo. Tuttavia, i costi di gestione e manutenzione dell'impianto risultano assai elevati, nonché le responsabilità e i rischi che derivano da queste attività. Nonostante vi siano, ad oggi,

sistemi informatici di monitoraggio, gli impianti di questo tipo richiedono una costante attenzione da parte della forza lavoro a quelli che sono sia gli aspetti più routinari del processo digestivo sia quelli di carattere straordinario. Questa rappresenta una delle maggiori criticità al riguardo.

In ultima istanza, poi, è interessante affrontare il tema dell'approvvigionamento delle risorse da immettere nel digestore: in linea con i principi della sostenibilità non dovrebbe essere la regola, come detto, adibire terreni ad uso agricolo per la produzione di colture ad uso energetico ma, nonostante ciò, questa pratica è la quotidianità poiché sarebbe impossibile alimentare degli impianti simili con una quantità di scarto agricolo che risulta essere insufficiente.

Tuttavia, è emerso che pur essendovi contrasti tra l'essere più o meno sostenibile in termini assoluti, il bilancio complessivo sia in ottica economica, sociale e ambientale è positivo. Probabilmente i futuri investimenti punteranno su altre tipologie di rinnovabile, quali per esempio il fotovoltaico che presenta dei costi di gestione e manutenzione decisamente meno elevati, a parità di vita utile e di buoni livelli di generazione elettrica.

Nel paragrafo a seguire verrà introdotta la fonte rinnovabile per eccellenza in Italia subito dopo la fonte idroelettrica: l'energia solare.

Dopo una breve presentazione su quella che è la panoramica del fotovoltaico nel nostro Paese, verrà trattato approfonditamente un sistema fotovoltaico studiato appositamente per il comparto agricolo, l'agrivoltaico, il focus di questo lavoro, mediante la creazione di un modello che andrà a mettere a sistema un set di variabili necessarie per una ponderata scelta di investimento in questa direzione.

1.5.2 Breve panoramica sul fotovoltaico in Italia

Le regioni settentrionali del Paese rendono conto del 45,1% sul totale della potenza fotovoltaica installata, quelle meridionali del 36,8%, quelle centrali del rimanente 18,1%.

Il contributo maggiore al totale nazionale è offerto dalla Puglia (13,0%) con parchi fotovoltaici a terra di grandi dimensioni, dalla Lombardia (12,0%) e dall'Emilia Romagna (10,0%) (Figura 1).

I dati sono aggiornati al 2021 [8] e mostrano, rispetto all'anno precedente, una crescita di potenza installata per le regioni settentrionali, mentre cala di 1 punto percentuale quella riferita alle regioni del Meridione e rimane invariata quella del Centro.

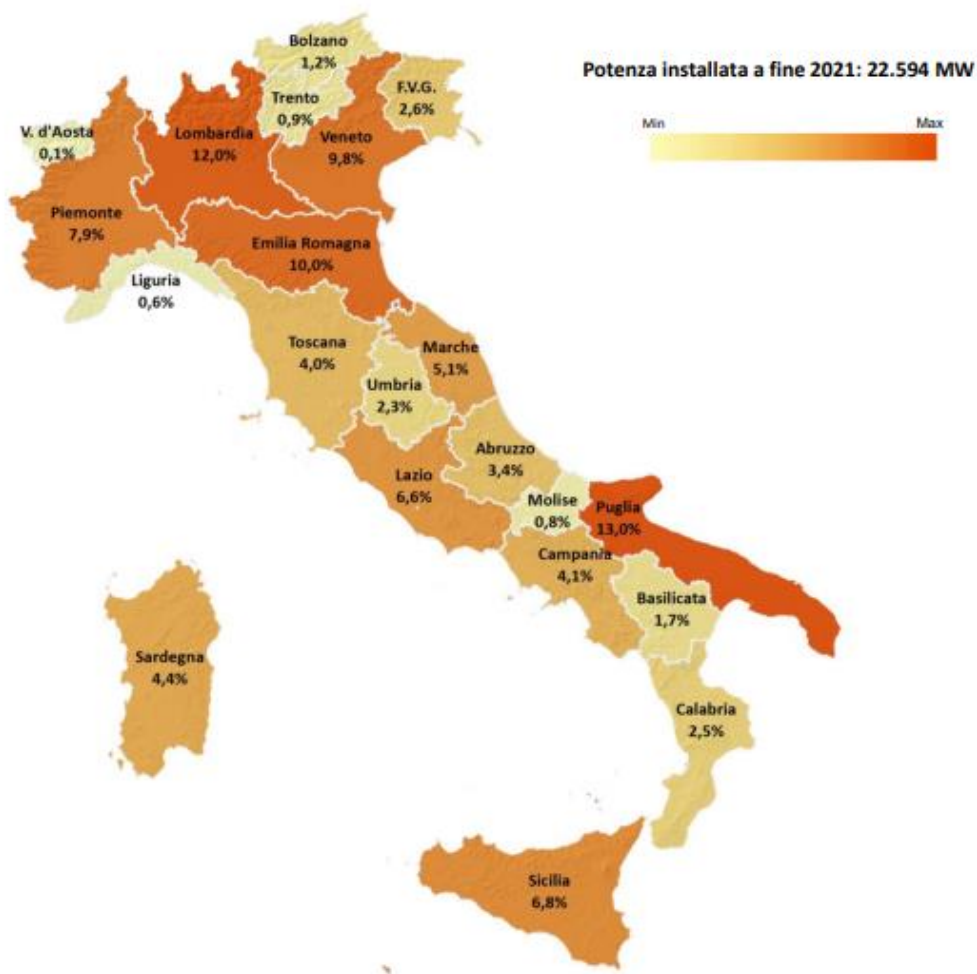


FIGURA 1. Distribuzione percentuale degli impianti fotovoltaici in Italia per regione a fine 2021 - Fonte: Rapporto Statistico Solare Fotovoltaico 2021, GSE

Nel corso del 2021 gli oltre 1.016.000 impianti installati hanno prodotto in Italia complessivamente 25.039 GWh di energia elettrica dimostrando un incremento dello 0,4% rispetto all'anno precedente (Grafico 4). Come per la potenza installata, la Puglia è al vertice nazionale per la produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici con una resa di 3.881 GWh pari a circa il 15,5% dei 25.039 GWh prodotti complessivamente. Segue la Lombardia con 2.545 GWh e l'Emilia-Romagna con 2.394 GWh, che hanno fornito un contributo pari rispettivamente al 10,2% e al 9,6%. Fanalini di coda, Valle d'Aosta con una produzione di 27,9 GWh (0,1%) e Liguria con i suoi 121,8 GWh (0,5%). È importante sottolineare che le variazioni avute rispetto all'anno precedente sono state il riflesso dell'andamento piuttosto differenziato delle condizioni climatiche rilevate durante l'indagine. Le Regioni che presentano variazioni positive più elevate sono la Liguria e la Lombardia, mentre Abruzzo e Molise si attestano per le variazioni negative più marcate.

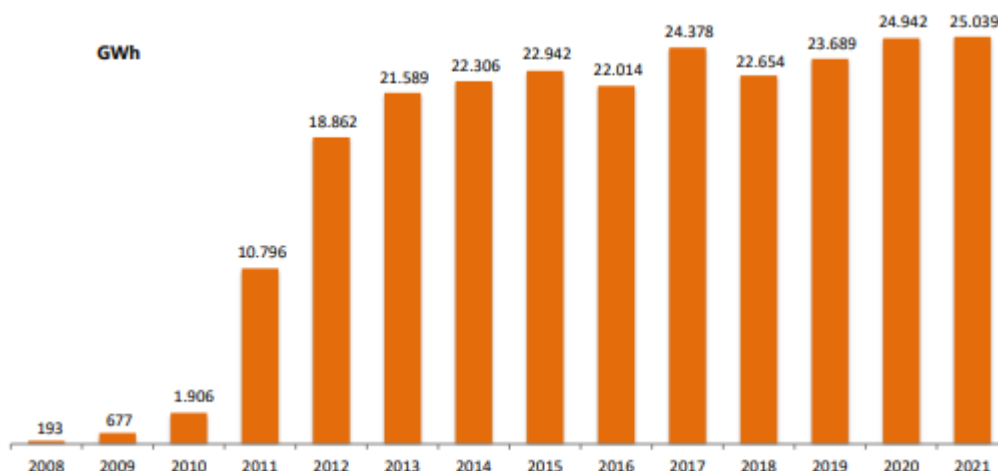


GRAFICO 4. Andamento della produzione totale degli impianti fotovoltaici in Italia - Anni 2008-2021 Fonte: Rapporto Statistico Solare Fotovoltaico 2021, GSE

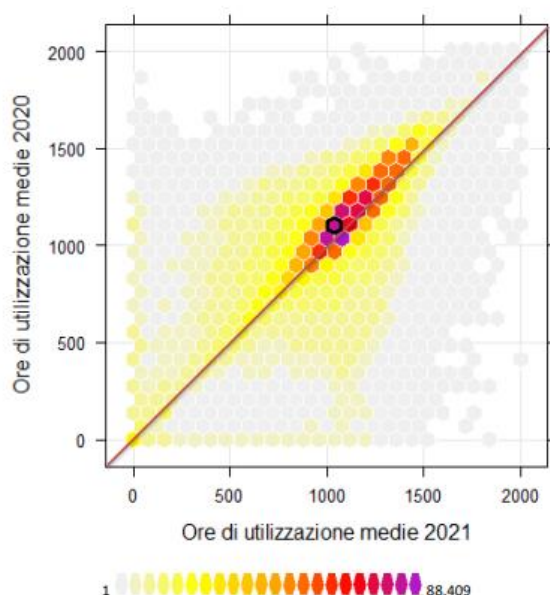


GRAFICO 5. Confronto tra ore medie di utilizzazione degli impianti fotovoltaici in Italia per gli anni 2020-2021. - Fonte: Rapporto Statistico Solare Fotovoltaico 2021, GSE

È possibile fare un ulteriore confronto sulla base delle ore medie di utilizzazione degli impianti entrati in esercizio entro il 31 dicembre 2019, rilevando ore di utilizzazione del 2020 e del 2021 (Grafico 5).

Ogni esagono contiene un dato numero di impianti, riflesso dall'intensità della colorazione dell'esagono stesso. Il posizionamento degli esagoni indica quante ore sono stati utilizzati nel 2020 (in verticale) e quante nel 2021 (orizzontale). L'esagono viola è quello che ha il maggior numero di impianti (riportato in figura, pari a 88.409, valore decisamente inferiore rispetto alle ore di

utilizzazione stimate per l'anno 2020 pari a 121.267). Tutti gli esagoni collocati sulla bisettrice sono quelli che, nei due anni considerati, hanno avuto le stesse prestazioni; quelli collocati a destra hanno avuto maggiori ore di producibilità nel 2021 rispetto al 2020. Vi è stato un generale incremento di performance, in media, passando da un anno all'altro.

Ai fini dello studio qui presentato, è necessario poi fornire un'analisi sul contesto del solare fotovoltaico per settori di attività, cui in questa sede verrà prettamente approfondito per ragioni di ricerca quello legato all'agricoltura. Alla fine del 2021, circa l'80% degli impianti complessivamente in esercizio in Italia presentano una maggiore concentrazione nel settore residenziale; la quota più rilevante della potenza installata complessiva (48%) si rileva invece nel settore industriale. Per quanto riguarda il settore agricolo (si comprendano aziende agricole e di allevamento), sia in termini di impianti presenti che di potenza installata i numeri sono ancora piuttosto bassi se rapportati ai dati rilevati per gli altri settori di attività (Tabella 2).

Settore di attività	Impianti installati al 31/12/2021		Impianti installati nell'anno 2021	
	Numero	Potenza (MW)	Numero	Potenza (MW)
Agricoltura	40.358	2.571,8	1.237	45,5
Residenziale	812.610	3.727,3	71.716	379,6
Industria	51.199	10.929,4	1.740	287,6
Terziario	111.916	5.365,8	5.726	224,8
Totale complessivo	1.016.083	22.594,3	80.419	937,6

TABELLA 2. Numerosità e potenza degli impianti distinti per settore di attività all'anno 2021 – Fonte: Rapporto Statistico Solare Fotovoltaico 2021, GSE

Come si evince dal Grafico 6, gli impianti appartenenti al settore Agricoltura a fine 2021 sono concentrati a livello di numerosità principalmente nelle regioni settentrionali. In vetta si rileva l'Emilia-Romagna con una produzione lorda di 419 GWh, seguita dal Veneto (321 GWh), Lombardia (366 GWh) e Piemonte (265 GWh). Sotto il profilo della potenza installata, la distribuzione territoriale segue per lo più la medesima tendenza riscontrata per la numerosità, ad eccezione di Veneto e Lombardia dove quest'ultima presenta una maggiore potenza di installazione per un livello inferiore di impianti rispetto al Veneto.

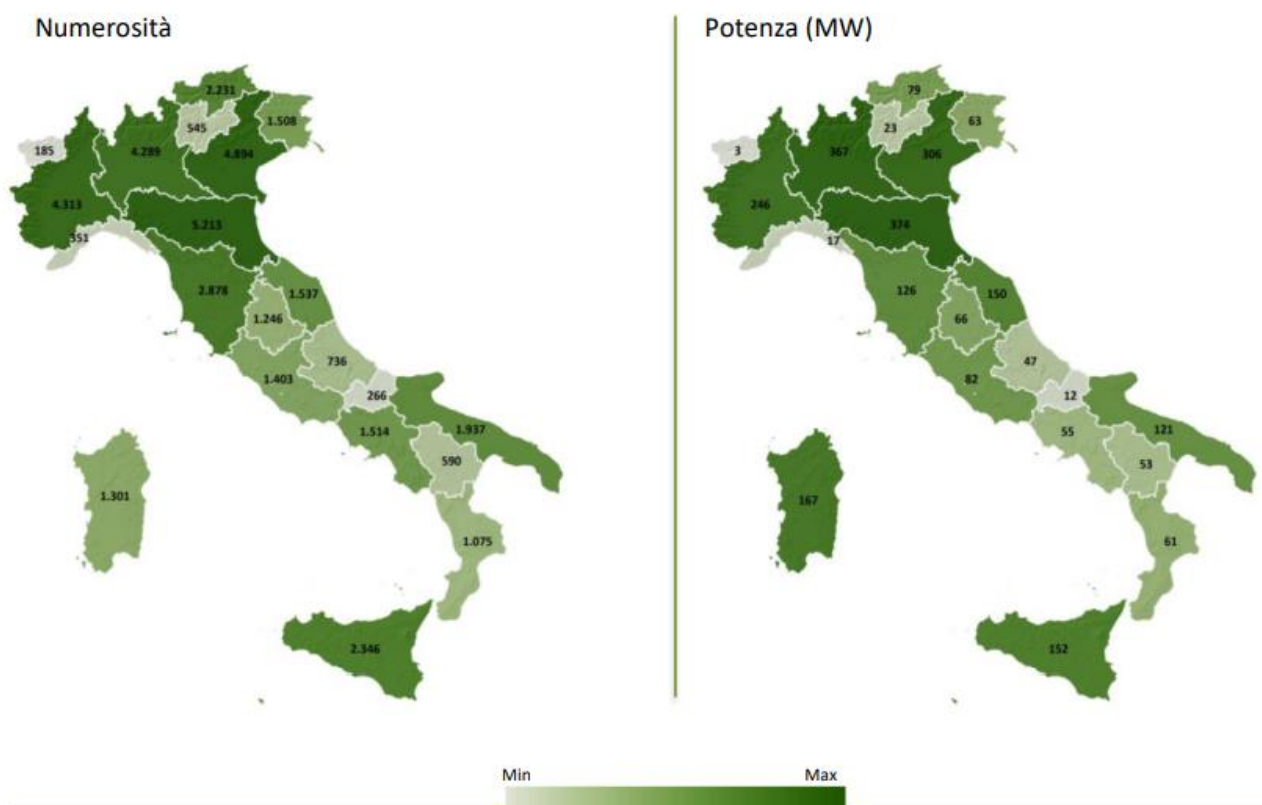


GRAFICO 6. Numerosità e potenza installata (MW) impianti fotovoltaici nel settore agricolo all'anno 2021 – Fonte: Rapporto Statistico Solare Fotovoltaico 2021, GSE

A conclusione di questa prefazione sulla tecnologia fotovoltaica con un particolare focus sul settore primario, è bene definire le caratteristiche tecniche e di funzionamento che risultano comuni alle diverse tipologie di impianto presenti sul mercato.

La tecnologia alla base del fotovoltaico consente di trasformare in modo diretto l'energia del Sole in energia elettrica attraverso un effetto, detto fotovoltaico appunto, identificabile nella capacità di alcuni materiali, detti semiconduttori, di generare elettricità quando colpiti da radiazione luminosa. Il materiale che permette questo processo è il silicio, un elemento diffuso in natura che, inserito nella cella fotovoltaica, è in grado di produrre circa 1,5 Watt in corrente continua. L'impianto interno è formato da più celle collegate elettricamente tra loro e strutturate in modo da formare il modulo fotovoltaico, la forma che generalmente conosciamo presente in commercio. Una serie collegata in parallelo di moduli fotovoltaici assume la forma di impianto che può arrivare ad una potenza di migliaia di kW. Altro elemento fondamentale per questa tecnologia è il cosiddetto "inverter", che permette la trasformazione della corrente continua in corrente alternata utilizzabile direttamente dagli utenti o da immettere nella rete.

Come si vedrà in seguito, specialmente per alcune tipologie di fotovoltaico in agricoltura quali l'Agrovoltaico® brevettato dalla società REM TEC S.r.l., esistono impianti sia a struttura fissa, sia in grado di inseguire il movimento solare allo scopo di incrementare la captazione della radiazione. Sulla base dei dati disponibili per l'Italia, l'esposizione ottimale dei moduli che presentano una struttura di tipo fisso dovrebbe presentare, per produrre in media dai 1000 ai 1.5000 kWh per kWp⁸ installato, un'inclinazione pari a circa 30-35 gradi.

Infine, la vita utile media di un impianto fotovoltaico si aggira intorno ai 20-25 anni con poche necessità di operazioni di manutenzione e una buona resistenza, tendenzialmente, agli agenti atmosferici. A differenza di altre fonti di energia rinnovabile sopra analizzate impiegabili in agricoltura, quali gli impianti a biogas, il privilegio di questa tecnologia è quello di avere una buona resa in termini di energia prodotta in corrispondenza di un basso livello di costi legati alla manutenzione e soprattutto al monitoraggio dell'impianto stesso.

Rimandando ad altra sede il dettaglio delle differenti tipologie di moduli presenti sul mercato (pannelli di silicio cristallino e pannelli a film sottile), è tuttavia interessante citare le diverse forme di impianto realizzabili nel contesto agricolo: impianto a terra e impianto ad inseguimento. L'attenzione rivolta ai temi della sostenibilità ha fatto convergere questo lavoro verso l'analisi della seconda tipologia di impianto citata, quella ad inseguimento, in quanto presenta potenzialmente un rapporto costi/benefici più alto rispetto alla struttura di tipo fisso, in termini di resa economica e rispetto dell'ambiente. Questa tipologia di impianto è realizzabile nel sistema agrovoltaico, la tecnologia che realizza, per eccellenza, il connubio tra energia e agricoltura.

L'agrovoltaico è una nuova e promettente frontiera per la produzione fotovoltaica in agricoltura. Di seguito, si riserverà un focus specifico a questa tecnologia di cui saranno approfonditi pro e contro attraverso una simulazione della sua integrazione, sebbene in forma semplificata, in una PMI agricola. Al momento, si riportano alcuni dati e informazioni introduttive di sintesi.

⁸ Il kWp è l'unità di misura utilizzata per misurare la potenza istantanea teorica massima producibile da un generatore elettrico (come il modulo fotovoltaico).

L'obiettivo dell'Italia è quello di accelerare il percorso di sviluppo sostenibile nel settore primario con il fine di raggiungere gli obiettivi perseguiti dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima⁹ (PNIEC) e del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Affinché ciò sia realizzabile è necessario costruire una serie di infrastrutture energetiche che consentano di coniugare il rispetto dell'ambiente e del territorio con il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

Una delle soluzioni emergenti nel campo agricolo è quella di realizzare i cosiddetti impianti "agrivoltaici", impianti fotovoltaici che preservano la continuità delle attività di coltivazione del suolo sul sito di installazione garantendo allo stesso tempo la produzione di energia da fonte rinnovabile. Per quanto concerne la forma strutturale, i pannelli fotovoltaici sono montati su una tensostruttura posta ad un'altezza da terra tale da consentire pratiche di coltivazione convenzionali sul terreno sottostante. Inoltre, i sistemi agrivoltaici possono avere diverse configurazioni spaziali legate alla densità di installazione dei moduli (Figura 2).

Questi pattern spaziali sono costituiti in modo da assecondare la funzione agricola, senza compromettere quella che è la destinazione d'uso principale del terreno.

L'impianto agrivoltaico è, infatti, per natura un sistema complesso essendo contemporaneamente legato alla sfera di produzione energetica e al contesto agronomico. Le prestazioni legate alla tecnologia fotovoltaica e quelle legate alla resa delle colture possono facilmente entrare in opposizione: un eccessivo ombreggiamento può avere un impatto negativo sulla crescita delle piante o, da un punto di vista strettamente tecnico, la spaziatura tra gli elementi della struttura impiantati sul terreno può interferire con l'utilizzo delle macchine agricole. È necessario, dunque, ai fini di una completa sinergia tra produzione energetica e resa agricola, stabilire una corretta configurazione del sistema che renda massima la captazione delle radiazioni senza alterare il profilo agronomico della coltura.

⁹ Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) stabilisce gli obiettivi della Nazione al 2030 riguardo l'efficienza energetica, le fonti rinnovabili e la riduzione delle emissioni di CO₂. Fissa, inoltre, gli obiettivi in tema di sicurezza energetica, interconnessioni, mercato unico dell'energia e competitività, sviluppo e mobilità sostenibile, delineando per ciascuna area le misure per assicurarne il raggiungimento.

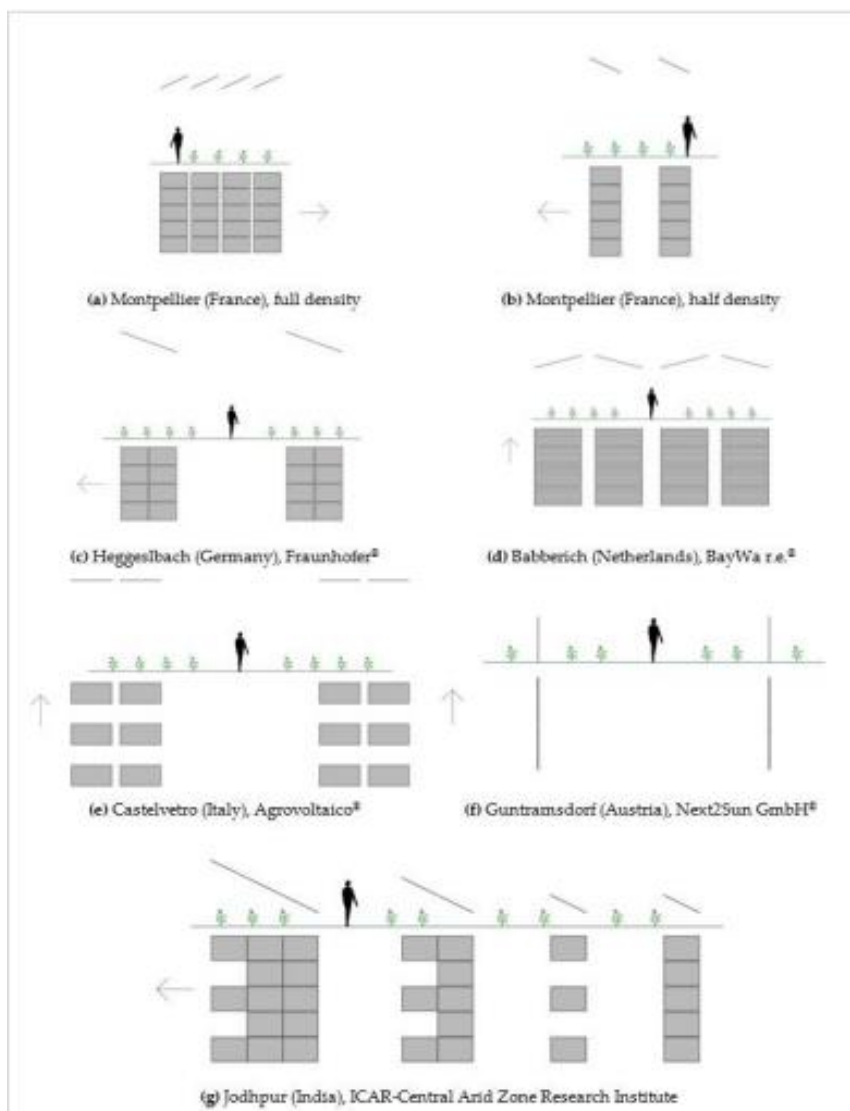


FIGURA 2. Configurazioni spaziali degli impianti agrivoltaici – Fonte: Rapporto MiTE “Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici”, 2022

Rispetto alla classica configurazione dell’impianto da terra, la configurazione agrivoltaica posta ad una determinata altezza, con una spazialità precisamente definita e con differenti densità dei moduli, mostra una maggiore ottimizzazione d’interazione tra attività agricola e tecnologia fotovoltaica. Questo pattern tridimensionale (altezza da terra, spazialità e densità dei moduli) massimizza, dunque, la prestazione energetica e può essere modificato al variare del contesto per favorire le attività agricole e non ostacolare la crescita delle piante. Per quanto concerne, infine, la disposizione sulla superficie agricola, un impianto agrivoltaico può essere costituito da un’unica “tessera” o da un insieme di esse anche all’interno di uno stesso lotto.

Studi condotti sul comportamento delle colture in presenza di più o meno radiazione luminosa hanno permesso di classificare le stesse in “non adatte”, “poco adatte”, “mediamente adatte” e “adatte” passando da una fase in cui l’ombreggiatura generata dalla struttura può incidere molto negativamente sullo stato di crescita della pianta ad una fase in cui l’ombreggiamento può addirittura favorire positivamente la resa agricola per via del microclima che verrebbe a generarsi al di sotto dei moduli. Per citare alcuni esempi dei due casi estremi, colture come il cavolfiore e le barbabietole da zucchero sono poco favorite da una riduzione della radiazione mentre patate, spinaci o insalata si prestano favorevolmente ad essere coltivate al di sotto di questi impianti.

L’agrivoltaico rappresenta una buona soluzione per la realizzazione degli obiettivi di sviluppo sostenibile inizialmente citati. Tra questi, risiede anche l’ottimizzazione dell’uso della risorsa idrica in accordo al Goal 12 dell’Agenda 2030¹⁰ che promuove un “consumo e produzione responsabili”. L’impianto agrivoltaico può, infatti, costituire un’efficace infrastruttura di recupero delle acque meteoriche che, se integrato a sistemi di raccolta, possono essere riutilizzate a scopi irrigui in complemento ai sistemi tradizionali. Esistono, poi, alcune tecnologie ancora più innovative che integrano nella stessa struttura sistemi d’irrigazione di precisione che riescono a fornire un risparmio idrico che oscilla tra il 25% e il 60% rispetto ai valori tipici d’impiego d’acqua per ha.

In materia di impianti agrivoltaici, sussistono dei requisiti dettati formalmente dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE) riportati in seguito [9]¹¹:

- REQUISITO A: Il sistema è progettato e realizzato in modo da adottare una configurazione spaziale ed opportune scelte tecnologiche, tali da consentire l’integrazione fra attività agricola e produzione elettrica e valorizzare il potenziale produttivo di entrambi i sottosistemi;
- REQUISITO B: Il sistema agrivoltaico è esercito, nel corso della vita tecnica, in maniera da garantire la produzione sinergica di energia elettrica e prodotti agricoli e non compromettere la continuità dell’attività agricola e pastorale;
- REQUISITO C: L’impianto agrivoltaico adotta soluzioni integrate innovative con moduli elevati da terra, volte a ottimizzare le prestazioni del sistema agrivoltaico sia in termini energetici che agricoli;

¹⁰ L’Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, sottoscritta il 25 settembre 2015 dai governi di 193 Paesi membri delle Nazioni Unite, è costituita da 17 Obiettivi per uno sviluppo equo e sostenibile (17 SDGs) e rappresenta un “programma d’azione per le persone, il pianeta e la prosperità”. All’interno di essa sono individuati 169 target, o traguardi, di carattere economico, sociale e ambientale da raggiungere entro il 2030 [10].

¹¹ I requisiti sono stati riportati esattamente come indicati nel documento ufficiale del MiTE “Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici”, 2022 ai fini di una maggiore rappresentatività.

- REQUISITO D: Il sistema agrivoltaico è dotato di un sistema di monitoraggio che consenta di verificare l'impatto sulle colture, il risparmio idrico, la produttività agricola per le diverse tipologie di colture e la continuità delle attività delle aziende agricole interessate;
- REQUISITO E: Il sistema agrivoltaico è dotato di un sistema di monitoraggio che, oltre a rispettare il requisito D, consenta di verificare il recupero della fertilità del suolo, il microclima, la resilienza ai cambiamenti climatici.

Il rispetto di tutti i requisiti presentati è precondizione per l'accesso ai contributi del PNRR, nell'ambito dell'attuazione della misura Missione 2, Componente 2, Investimento 1.1 "Sviluppo del sistema agrivoltaico" (M2C2 - Investimento 1.1). Con tale misura, il PNRR ha destinato 1,10 mld per la diffusione degli impianti agrivoltaici di medie e grandi dimensioni con l'intento di sviluppare un'agricoltura più sostenibile e caratterizzata dall'impiego di fonti di energia rinnovabile. Oltre al potenziale risparmio di CO2 che ne deriverebbe, stimato intorno alle 0,8 milioni di tonnellate, anche i costi aziendali legati ai consumi energetici che pesano per circa il 20% dei costi totali aziendali, andrebbero incontro ad una forte riduzione. Entro dicembre 2024 verranno aggiudicati gli appalti pubblici per l'installazione dei pannelli fotovoltaici mentre entro giugno 2026 si stima che sia avvenuta l'installazione di impianti agrivoltaici con una capacità di 1,04 GW e una produzione complessiva di circa 1300 GWh annui.

Per quanto attiene, invece, ai contributi PAC sappiamo che questa Politica incide profondamente sulle scelte aziendali riguardanti l'uso del suolo agricolo. Il 20% del reddito agricolo è infatti sovvenzionato da contributi di questo tipo. Affinché l'azienda possa ricevere gli aiuti diretti della PAC, è condizione necessaria che l'attività sia prevalentemente di tipo agricolo. Sono ammissibili situazioni in cui non si svolga attività prevalentemente agricola nei casi in cui questa non occupi la superficie agricola interferendo con l'attività agricola per un periodo superiore ai 60 giorni, che non utilizzi strutture di tipo permanente che vadano ad alterare il ciclo delle colture ordinario e che infine consenta il mantenimento dei corretti parametri ambientali ed agronomici. In linea con questi presupposti, l'installazione degli impianti agrivoltaici rientrerebbe in una tipologia di attività non agricola ma la configurazione degli stessi permette di superare i requisiti richiesti per l'ottenimento dei contributi PAC.

In conclusione, non è pensabile non presentare un approfondimento su quella che è l'analisi dei costi di investimento, elemento caldo di questo tema e di interesse per coloro i quali intendono orientare le proprie scelte di investimento verso la tecnologia agrivoltaica. Le spese di investimento sono

generalmente riconducibili ai seguenti fattori: moduli fotovoltaici, inverter, strutture fisse o ad inseguimento solare per il montaggio dei moduli, componentistica elettrica, progettazione, direzione lavori, collaudi, opere per la sicurezza, preparazione del sito di installazione e posa in opera, recinzione e connessione alla rete. Le voci di costo che presentano notevoli differenze sono le strutture di montaggio che possono arrivare fino ai 320-600 €/kW per sistemi a colture seminative. Nel complesso, partiamo dai 750 €/kW per gli impianti di tipo tradizionale (raggiungiamo gli 800 €/kW con la tecnologia ad inseguimento solare monoassiale) per arrivare a circa 1.200 €/kW per i sistemi a colture seminative che mostrano tendenzialmente costi di investimento più alto rispetto alle colture di tipo permanente. Un altro aspetto che non va tralasciato quando parliamo di costi di investimento è quello legato alle pratiche di avviamento. Lo studio condotto ha fornito informazioni utili che hanno permesso di comprendere quali possano essere le reali problematiche riscontrabili in fase di avvio dell'investimento. Primi tra questi è sorto il problema dell'accesso al credito: gli impianti finora installati da parte dell'Azienda sono stati per lo più finanziati per proprio conto senza che vi sia stata l'intermediazione di un ente esterno. Ciò, ovviamente, rappresenta uno scoglio non di poco conto se consideriamo che oltre al costo legato all'opportunità e al rischio, la maggior parte delle realtà agricole italiane sono PMI che non possono autofinanziare l'investimento. Sarebbe interessante analizzare negli studi futuri la situazione attuale riguardo l'accesso al credito, a prescindere da quelli che possono essere gli incentivi statali previsti in materia. Inoltre, una potenziale criticità riscontrabile in questo contesto potrebbe esser dettata, in fase di verifica, dall'allacciamento alla rete. Un aspetto di notevole importanza nella realizzazione dell'impianto è certamente relativo all'allacciamento alla rete elettrica, operazione sotto responsabilità di Enel Distribuzione, che gestisce e detiene il controllo delle reti elettriche locali in bassa tensione e installa i contatori. L'impianto deve avere un allacciamento in immissione e prelievo con un unico punto di connessione alla rete: gli aspetti procedurali ed economici del collegamento sono materia dell'Aeeg (Autorità per l'energia elettrica e il Gas) [11] e funzione del valore della potenza in immissione richiesta.

I Costi

Essi riguardano due fasi procedurali distinte:

- 1) la richiesta del preventivo, per la quale le tariffe variano in funzione della fascia di potenza richiesta in immissione in rete:
 - 100 € fino a 50 Kw;
 - 200 € superiore a 50 Kw e fino a 100 Kw;
 - 500 € dai 100 ai 500 Kw;

- 1.500 € dai 500 ai 1.000 Kw;
- 2.500 € oltre i 1.000 Kw

2) l'accettazione del preventivo per la quale si tiene conto delle potenze in immissione e delle distanze tra punto di connessione e cabina di trasformazione.

Dati:

- P = potenza ai fini della connessione (KW);
- DA = distanza (in km) tra il punto di connessione e la cabina di trasformazione media/bassa tensione del gestore di rete;
- DB = distanza (in km) tra il punto di connessione e la stazione di trasformazione alta/media tensione del gestore di rete

la tariffa è individuata nel valore minore tra A e B, dove:

$$A = 35 \text{ €} * P + 90 \text{ €} * P * DA + 100$$

$$B = 4 \text{ €} * P + 7,5 \text{ €} * P * DB + 6.000$$

Il valore minore derivante dal conteggio di queste due formule è la tariffa per la connessione (da pagare per 30% prima dei lavori, per il 70 % a fine lavori, o in un'unica soluzione).

Le tempistiche e la procedura

Dopo aver ottenuto tutte le autorizzazioni necessarie per la costruzione dell'impianto si può inoltrare la richiesta di connessione con le seguenti tempistiche:

- 20 gg lavorativi per potenze in immissione fino a 100 Kw;
- 45 gg lavorativi per potenze in immissione dai 100 ai 1.000 Kw;
- 60 gg lavorativi per potenze in immissione oltre i 1.000 Kw

I tempi di realizzazione effettiva della connessione vanno dai 30 ai 90 giorni, e oltre, per i lavori più complessi.

Di tali tempi è necessario tener conto nell'analisi benefici-costi a livello aziendale sia per la singola impresa che in caso di comunità energetiche formate da più soggetti imprenditoriali.

I costi riferiti alle pratiche in questo senso presentano costi elevati sia in termini di realizzazione dell'eventuale mancanza sia in termini di tempi di attesa. In realtà, molti costi legati all'installazione di impianti agrivoltaici potrebbero essere ridotti se consideriamo l'eventualità di un investimento in forma collettiva come può avvenire in seguito alla costituzione di una comunità energetica. Nel

paragrafo a seguire verrà approfondita questa prospettiva come soluzione a problemi di tipo finanziario e tecnico/strutturale.

1.5.4 Le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) come risoluzione al vincolo dei costi di investimento

Le Comunità di Energia Rinnovabile (CER) [12] sono a tutti gli effetti soggetti giuridici costituiti da privati cittadini, enti e imprese, che consumano energia autoprodotta con impianti alimentati da fonti rinnovabili e hanno come scopo principale quello di fornire benefici ambientali, economici o sociali ai propri membri e alle aree in cui operano. Esistono diversi modelli di business realizzabili:

- ❖ **Consorzio di aziende:** le aziende stipulano un accordo in cui, a titolo d'esempio, una di esse ha disponibilità finanziarie e/o strutturali per realizzare l'investimento sul proprio terreno alimentando una seconda azienda che non possiede alcun impianto (il consumer) ed è magari in connessione con una terza azienda che ha il fotovoltaico senza grandi eccedenze ma una produzione sincronizzata di consumo. In questo modo la prima azienda valorizza le eccedenze, la seconda paga l'energia in misura minore rispetto alle tariffe vigenti sul mercato e la terza entrambi casi;
- ❖ **Azienda + Comunità + Cittadini:** l'azienda che realizza l'investimento produce energia elettrica in eccedenza tale da alimentare una porzione di utenze presenti nel territorio. In questa direzione potrebbe esser stipulato un accordo con il comune di riferimento al fine di rendere realizzabile la distribuzione tra i vari utenti.

La costituzione di una comunità energetica potrebbe favorire l'ammortizzazione dei costi di installazione dell'impianto agrivoltaico e soprattutto offrire una visibilità maggiore di fronte al gestore al fine di ottenere un'accelerazione delle pratiche amministrative.

La pandemia, inoltre, ha diminuito in un primo momento la richiesta energetica e il prezzo dell'energia si è momentaneamente abbassato. Poi, la crisi energetica che non è chiaro se sia attribuibile alla pandemia, alla previsione del conflitto ucraino o a meccanismi diversi come la crisi energetica importata dalla Cina, ha scaturito oscillazioni imprevedibili sui costi dell'energia. Ogni raddoppio dell'energia, per esempio, dimezza il tempo di ritorno dell'investimento dell'impianto agrivoltaico. In questa ottica, investire collettivamente in forma di comunità energetica risulterebbe quindi estremamente conveniente.

La domanda che sorge spontanea è se si sta parlando di un'opportunità di mercato o di una necessità di sopravvivenza. La risposta è che la comunità energetica potrebbe rappresentare una strategia attraverso la quale, di fatto, si continua a "resistere" in quanto le diverse oscillazioni pongono l'azienda in una situazione in cui questa non riesca a stabilire una marginalità stabile, o quantomeno prevedibile, e a fare piani di sviluppo di medio/lungo periodo.

Il PNRR ha assegnato 2,20 mld al tema delle comunità energetiche che vengono erogati con finanziamento a tasso 0 fino al 100% dei costi ammissibili e contribuiscono attivamente alla transizione verde e sviluppo sostenibile del Paese, favorendo l'efficienza energetica e promuovendo lo sviluppo delle fonti rinnovabili. L'obiettivo ultimo è quello di fornire energia rinnovabile a prezzi accessibili a tutti i membri appartenenti alla comunità. L'ENEA stima che nel 2050 i prosumer¹² saranno ben 264 milioni e produrranno fino a quasi la metà dell'elettricità rinnovabile dell'intera UE. Il Piano punta a sostenerli anche in Italia, garantendo alle comunità energetiche le risorse necessarie per installare circa 2.000 MW di nuova capacità, grazie alla quale vi sarà una produzione energetica di circa 2.500 GWh annui e una riduzione delle emissioni di gas serra di 1,5 tonnellate di CO₂.

A questo proposito, verranno individuate famiglie e microimprese in comuni con meno di 5.000 abitanti, ma anche Pubbliche Amministrazioni, in modo da sostenere l'economia dei piccoli centri favorendo la coesione sociale e abbassando il rischio di spopolamento. Sempre ENEA ha sviluppato un'infrastruttura di supporto alle comunità energetiche finanziata con fondi pubblici, messa a disposizione gratuitamente alle comunità energetiche, consorzi di comunità, comuni e Regioni. Stiamo parlando di tools come "Recon", strumento per la valutazione economica delle Comunità di Energia Rinnovabile creato da ENEA, che permette di simulare situazioni sulla convenienza economica a costituire una Comunità Energetica. È possibile registrarsi al portale di questa piattaforma e progettare, ricostruire i profili di consumo e di produzione fino ad arrivare alla costituzione di un bilancio economico a partire dalle informazioni sui cluster dei consumi energetici ricavati dalla bolletta. Attualmente sono presenti diverse tipologie di attori che stanno portando avanti, mediante la piattaforma di simulazione, circa 1300 progetti di Comunità Energetiche Rinnovabili.

I benefici che derivano dalla costituzione di una Comunità Energetica sono riscontrabili nello sviluppo, a livello decentralizzato, di fonti di energia rinnovabile mediante le quali si promuove la

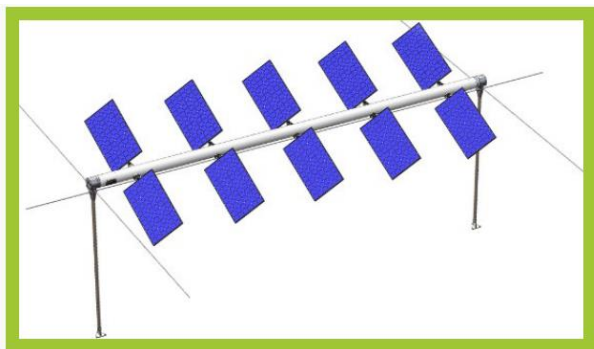
¹² Il prosumer è il produttore e allo stesso tempo l'utilizzatore dell'energia all'interno della comunità energetica. Il consumatore diviene dunque protagonista nella gestione dei flussi energetici.

partecipazione al mercato di utenti che altrimenti rimarrebbero esclusi, contribuendo sia alla fornitura di energia a prezzi inferiori sia al combattimento della povertà energetica.

1.5.5 Il caso aziendale: REM TEC S.r.l.

I risultati presentati nel Capitolo 3 sono stati resi concreti a partire dai dati concessi da REM TEC S.r.l., [13] società leader nel fornire soluzioni tecnologiche avanzate nel settore delle energie rinnovabili. Nello specifico, l'azienda è stata la prima a sviluppare progetti sostenibili per la produzione di energia da fonte solare preservando il pieno utilizzo del terreno per l'agricoltura: parliamo del progetto AGROVOLTAICO®, un sistema ad inseguimento solare mono o biassiale che massimizza la produzione di energia elettrica da fonte solare mantenendo il terreno disponibile per la coltivazione e gli altri scopi. L'azienda ha brevettato questo progetto in tutto il mondo con l'idea che i terreni adibiti ad uso agricolo possano essere doppiamente valorizzati producendo da un lato energia elettrica pulita e dall'altro lasciando spazio alle colture senza comprometterne la resa. Questo sistema permetterebbe addirittura di incrementarla, in alcuni casi, grazie allo specifico ombreggiamento generato dai moduli fotovoltaici che ha il beneficio di ridurre lo stress termico sulle colture. La rotazione dei pannelli fa in modo che l'ombreggiamento non vada, però, ad ostacolare il fabbisogno fotosintetico della pianta. Gli studi che la società ha condotto a partire dal 2011 con l'Università di Piacenza hanno rivelato che per alcune colture, come il mais, vi è stata addirittura una resa del 4,3% maggiore rispetto allo scenario equivalente in campo aperto.

A livello strutturale, l'impianto consiste in un sistema biassiale, posto a 5 m di altezza da terra in grado di massimizzare la produzione di energia elettrica, grazie alla presenza di moduli fotovoltaici bifacciali, lasciando il terreno libero per lo svolgimento dell'attività principale agricola; Quest'ultima è resa possibile anche grazie alla distanza tra i pali della struttura impiantati nel terreno che può essere di multipli di 25 metri, permettendo il transito anche a mezzi agricoli più imponenti ed evitando danneggiamenti da lavorazione alla struttura. Tale configurazione rende l'impianto versatile e accoglie la domanda di coloro i quali hanno intenzione di approcciarsi ad una diversificazione del reddito generato dal terreno senza che le pratiche abituali siano nettamente alterate. L'intera struttura, inoltre, si configura in modo ottimale con le differenti tipologie di terreno, resistendo fino ad una pendenza del 15%. Per quanto riguarda la singola unità di installazione, esistono due differenti configurazioni di impianto a seconda del differenziale di potenza installata, delle caratteristiche dimensionali e del numero di pannelli installati per ogni tracker (Figura 3). Queste caratteristiche e la presenza, inoltre, della mono o bi-faccialità dei pannelli diversifica quella che è la produzione di energia elettrica, rendendola massima nel caso di moduli fotovoltaici di tipo bifacciale.



Configurazione TRACKER 1



Configurazione TRACKER 2

FIGURA 3. Diverse configurazioni di inseguimento solare per impianto AGROVOLTAICO ® -

Fonte: REM TEC S.r.l.

Rispetto alla prima configurazione, la potenza installata varia dai 2,5 kWp ai 4,35 kWp per ogni tracker installato mentre per la seconda, grazie alla presenza di moduli bifacciali e un numero più che doppio di pannelli installati (ben 24), la potenza può arrivare fino a 16,8 kWp per tracker. A livello dimensionale vi è una differenza di 2 metri in lunghezza, dove per la prima configurazione viene sviluppata in 12 metri mentre nella seconda in 14 metri. Rispetto all'altezza dal suolo, in entrambi i casi è sempre 5 metri per permettere, come nelle righe precedenti approfondito, il transito delle macchine agricole.

I risultati della ricerca che verranno presentati in seguito sono il frutto di un costante confronto avvenuto con la società nell'anno in cui è stato condotto questo studio, grazie alla quale è stato possibile ottenere i dati tecnici per effettuare i calcoli all'interno del modello di costo e far visita nel giugno 2022 ad uno degli impianti che la società detiene in Italia presso Monticelli d'Ongina, in provincia di Piacenza. L'impianto in questione è operativo dal 2011 e, installato su una superficie di 17,11 ha ad uso agricolo, presenta una produzione di energia annua pari a 4.842.000 kWh su un totale di 1500 ore equivalenti di operatività. Con i suoi 4,5 metri di altezza, la struttura ha ospitato diversi tipi colture: l'imprenditore che, al tempo, scelse di credere in questa tecnologia riporta rese agricole positive per le diverse tipologie di semine negli anni sperimentate, in particolare per il mais che ha mostrato una resa più che positiva sottostante la struttura. L'impianto, inoltre, vede condiviso il proprio spazio con un impianto di sub-irrigazione, impianto irriguo di precisione, di cui l'imprenditore vanta l'investimento sia in ottica di risparmio idrico che in ottica di gestione spaziale con l'impianto già installato. La manutenzione non ha comportato negli anni eccessivi oneri; dal punto di vista, per esempio, dei danneggiamenti legati allo spostamento dei mezzi agricoli, non vi sono stati

nell'arco dei dieci anni di vita dell'impianto incidenti o impedimenti che hanno compresso il funzionamento della struttura, né tantomeno sono stati necessari interventi particolari all'impianto stesso. Il supporto fornito da REM TEC S.r.l. ha fornito alcuni spunti interessanti per il completamento di questa ricerca. In primo luogo, avere un'interazione diretta con la figura imprenditoriale che ospita attualmente uno degli impianti della società ha reso possibile l'identificazione in termini pratici di quali siano i costi/benefici legati a questa nuova frontiera e se realmente un investimento in agrivoltaico è una misura idonea, e non in contrasto, alla principale attività agricola. Questo aspetto ha rappresentato il punto di partenza della ricerca poiché il presupposto sul quale lo studio è stato fondato è che questo partorisce un'idea chiara e accessibile del contesto in cui una tecnologia vada ad integrarsi in un settore che sta ponendo nella rivoluzione tecnologica le proprie basi di sopravvivenza: l'agricoltura. In un secondo momento, lo scambio costante di informazioni con la società ha reso possibile la creazione di un set di dati che in aggiunta a quelli forniti dalla ricerca scientifica di A. Agostini et al.¹³ in tema di valutazione economica e ambientale di un impianto agrivoltaico ha permesso la realizzazione di questo progetto. Il mix dei dati raccolti è sintetizzato nella Tabella 1 a seguire e rappresenta l'input dei calcoli mostrati nel Capitolo Terzo - Risultati. È necessario sottolineare che i dati presentati sono utili nel ricreare una simulazione di integrazione di un impianto agrivoltaico all'interno di una PMI agricola e non rappresentano, dunque, dei dati sempre costanti e non modificabili. Occorre calibrare dati e modello a seconda del contesto specifico di riferimento.

Caratteristiche impianto agrivoltaico considerato	
Potenza (MW)	1000
Vita utile (anni)	25
Costo impianto (€/MW)	1.455.000
Costi operativi (€/MW-anno)	20.500
Produzione elettrica lorda (kWh-anno)	1.500.000
Superficie utilizzata (ha)	17,11
Altezza da terra (m)	5
Distanza tra i pali (m)	>25

TABELLA 3. Caratteristiche impianto agrivoltaico considerato (Agostini et al, 2021)

Prima di mostrare quali siano stati gli esiti del lavoro, è importante offrire una panoramica della metodologia impiegata per il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

¹³ Il lavoro [14] fornito i dati necessari per effettuare i calcoli mostrati nel Capitolo Terzo in merito alle caratteristiche tecniche dell'impianto agrivoltaico.

Questa sezione presenta gli strumenti utilizzati nel lavoro: i quattro cardini metodologici del lavoro svolto, ovvero l'analisi costi-efficacia, il costo livellato dell'energia, il machine learning e la Matrice di Contabilità Sociale (SAM) ed i dati relativi.

La prospettiva utilizzata è quella dell'imprenditore. Il conduttore dell'azienda agricola è il soggetto chiave le cui scelte sono analizzate in funzione della massimizzazione di una funzione obiettivo composita ponderata, in cui il principale obiettivo rimane la conservazione e lo sviluppo della propria azienda agricola. In ottica strategica, è necessario che il soggetto decisore anticipi il cambiamento sia per il principio economico secondo cui l'impresa che riesce ad introdurre per prima una nuova categoria di prodotto o servizio, la cosiddetta "first mover", si aggiudica profitti positivi nel medio-lungo periodo in quanto pioniera, sia perché la capacità di captare tempestivamente i bisogni emergenti può offrire all'azienda la sopravvivenza nel tempo. Dal punto di vista sociale, inoltre, il lavoro intende fornire supporto alle categorie di giovani imprenditori agricoli (ma anche non del settore se questo studio potrà contribuire in qualche modo a formalizzare un approccio comportamentale) che si interfacciano con la realtà tecnologica che sta interessando da qui ai prossimi anni il settore primario. Il lavoro proposto non intende, ovviamente, proporre asserzioni categoriche piuttosto che stime per quanto approssimate sull'impatto della tecnologia all'interno dei conti aziendali, quanto suggerire lo sviluppo di un vero e proprio metodo, un meccanismo comportamentale, che sia di spunto per approcciarsi al cambiamento. I risultati che restituisce il modello fungono dunque da primissima simulazione, offrendo stime approssimative di quello che potrebbe accadere qualora si decidesse di integrare una determinata tecnologia nei perimetri aziendali. Il modello è stato volutamente creato in tal modo per lasciare spazio all'introduzione di nuove variabili in accordo con un contesto tecnologico ed economico esterno in perenne evoluzione. A livello economico, inoltre, integrare un nuovo prodotto, un nuovo servizio, o introdurre una nuova tecnologia come in questo caso, rappresenterebbe una fonte di diversificazione del reddito, nonché una riduzione del livello di rischio d'impresa. I calcoli effettuati sono stati integrati in un tipico bilancio aziendale della PMI agricola italiana, semplificato al massimo livello possibile, per verificare gli effetti dell'investimento e stimare quanto sia consistente la parte che apporta una diversificazione del rischio. L'obiettivo del lavoro, in un'ottica manageriale, è quello di fornire uno strumento utile per stimolare l'imprenditore a riflettere, a non limitarsi a recepire dal basso le direttive del cambiamento ma ad integrarsi con esse, mediante strumenti concretamente utili alle sue decisioni.

Il lavoro svolto vede come **prima fase** l'integrazione della dimensione energetica, rappresentata dall'impianto agrivoltaico installato nell'azienda, sotto forma di calcolo della produzione in relazione al fabbisogno e conseguente flusso economico di ricavi dalla cessione dell'energia prodotta. Questo calcolo è essenzialmente legato alle componenti tecnologica (le caratteristiche dell'impianto), meteo (l'irradiazione solare e ogni fenomeno che influisca sulla producibilità) ed economica (il prezzo di cessione dell'energia).

Il trattamento dell'incertezza è operato per mezzo del machine learning, nella fattispecie mediante l'utilizzo di macchine a vettori di supporto dedicate alla regressione delle variabili obiettivo secondo variabili significative, al fine di generare, partendo da una simulazione su dati storici, un tracciato probabile per le variabili in gioco, tale da ottenere come risultato finale il flusso di cassa relativo all'energia venduta. Usare il machine learning per fare previsione, ad esempio, sul prezzo dell'energia elettrica basata su serie storica riflette una maggiore accuratezza nella previsione stessa, in termini di riduzione del margine di errore. L'obiettivo è quello, infatti, di fare previsione sul prezzo dell'energia che sia il più possibile vicina a ciò che accadrà nella realtà, nonostante sia riconosciuto il fatto che in questo ambito prevalgano delle dinamiche esterne che prescindono dalla precisione dei calcoli.

La dimensione economica riferita al prezzo dell'energia elettrica è poi affrontata attraverso la metrica LCOE [15] di fonte IEA¹⁴, valutando quali siano i ricavi medi per unità di elettricità generata dall'impianto agrivoltaico al fine di mostrare una misura sintetica riguardo la competitività di questa fonte di energia rinnovabile rispetto alle altre tecnologie disponibili.

La seconda fase integra il guadagno da vendita di energia nei conti aziendali.

Nel modello semplificato utilizzato, la dimensione energetica è accostata a quella idrica, essendo insita nella struttura fotovoltaica la possibilità di integrazione di strutture di irrigazione di precisione capaci di conseguire significativi e a quella relativa a variazioni di resa.

È importante sottolineare che l'eventuale risparmio idrico diviene rilevante solo in caso di significativa occupazione di suolo (più precisamente, di suolo con colture water-intensive) e che la variazione di resa è ancora oggi oggetto di studio e non sono disponibili molti dati per molti tipi di colture diverse.

Questo lavoro si propone perciò di effettuare un primo e fondamentale passo modellando correttamente tutti gli effetti derivanti dall'adozione di un impianto agrivoltaico (idealmente, di ogni tecnologia innovativa) indipendentemente dalla presenza di dati al momento attuale, ricorrendo in

¹⁴ L'Agenzia Internazionale dell'Energia

alcuni casi presentati di seguito a dei risultati da dati simulati, allo scopo di far comprendere con maggiore chiarezza la sua utilità.

La terza fase implica la realizzazione di una vera e propria analisi costi-efficacia, in questo caso condotta relativamente al risparmio di CO₂ emessa dall'azienda in sé soddisfacendo il suo fabbisogno, e simulando la CO₂ risparmiata dal mix di generazione elettrico nazionale sotto certe ipotesi di penetrazione di questa tecnologia in Italia. Effettuare un'analisi costi-efficacia vuol dire mostrare un interesse in ottica globale, non considerare l'azienda come una realtà economica singola ma come operatore microeconomico che, a livello aggregato, può influenzare significativamente i risultati del suo settore di attività e del Paese in ultima istanza. Rivolgere la propria attenzione a questi aspetti, rileva una sensibilità verso gli interessi della sfera pubblica, a problemi di carattere globale che includono considerazioni che spaziano ben oltre i confini economici.

Tale prospettiva andrebbe replicata per tutte e tre le fasi e ampliata in una parte successiva, nella quale essa è ipotizzata integrarsi in un contesto più ampio dell'azienda in sé, quale la comunità energetica, in questo caso relativamente a conto economico e produzione energetica. Il semplice esercizio proposto intende dare un saggio di come, in un contesto costituito da diverse imprese associate nel sostenere gli investimenti necessari e nel dividerne i conseguenti utili, la fattibilità degli investimenti suddetti possa considerevolmente aumentare sia in termini di utilizzo di risorse proprie, sia riguardo a maggiori garanzie per eventuali soggetti finanziatori.

Infine, la **prospettiva pubblica**, nutrita dal lavoro precedentemente svolto ed integrata in un contesto nazionale, viene presentata come elaborazione finale, con un esercizio condotto ipotizzando che un numero consistente di imprese operi congiuntamente (tenendo come riferimento dei limiti stimati sulla capacità installabile in Italia sulla base di opinioni di esperti della materia) e calcolando gli effetti dell'investimento in fase di cantiere e a regime mediante l'uso della Matrice di Contabilità Sociale [16] (in una versione utilizzata dall'ENEA in collaborazione con l'Università di Tor Vergata relativa all'anno 2010) [17-18]. Con l'ausilio della SAM viene offerta una visione di respiro ancora più ampio rispetto ai caratteri imprenditoriali, entrando nell'ottica del decisore pubblico. In questo modo è possibile effettuare una stima di quelli che potrebbero essere gli effetti della tecnologia, positivi e negativi, sull'economia della Nazione. È un'ulteriore riprova del fatto che questo studio non vuole limitare il proprio campo d'applicazione al singolo contesto aziendale bensì approfondire la questione secondo le diverse e possibili dimensioni che attengono alla sfera umana: individuo in quanto

cittadino, individuo in quanto imprenditore e individuo come soggetto pubblico che è chiamato a prendere decisioni che hanno un effetto alla frontiera di carattere macroeconomico. Nei paragrafi seguenti verranno presentati nel dettaglio i quattro cardini metodologici, partendo volutamente dall'analisi costi-efficacia che mostrerà la stima della riduzione di CO2 nell'arco temporale considerato, favorita dall'introduzione della tecnologia agrivoltaica, ricordando che prima di considerare la dimensione economica non si possono ignorare le istanze che riguardano il nostro Pianeta in termini di sopravvivenza e qualità della vita.

2.1 Analisi costi-efficacia - Misurazione della CO2 evitata a livello micro e macroeconomico

Per stimare la CO2 evitata mediante l'adozione di un impianto di produzione elettrica quale quello agri-voltaico, è stato condotto un confronto con una tecnologia di produzione alternativa, in questo caso utilizzando una stima della CO2 evitata effettuata dalla IEA in una edizione dei suoi lavori di riferimento (IEA, 2020) e rappresentata dai seguenti dati:

<i>Default Values for fossil fuels</i>				
<i>Fuel Type</i>	<i>IPCC Value</i>	<i>Gross Calorific value</i>		
	[kgCO ₂ /TJ]	[GJ/ton]	[GJ/MMBTU]	[GJ/m ³]
Natural Gas	56100	NA	1.0551	0.039

TABELLA 4 - Caratterizzazione della fonte fossile alternativa considerata (IEA, 2020)

La fonte fossile in competizione scelta è appunto quella basata sul gas naturale e i calcoli corrispondenti alla CO2 evitata in un arco di tempo pari alla durata di vita di un impianto sono stati svolti di conseguenza, con una stima media di circa 7000 tonnellate di CO2 risparmiate durante l'arco di vita dell'impianto.

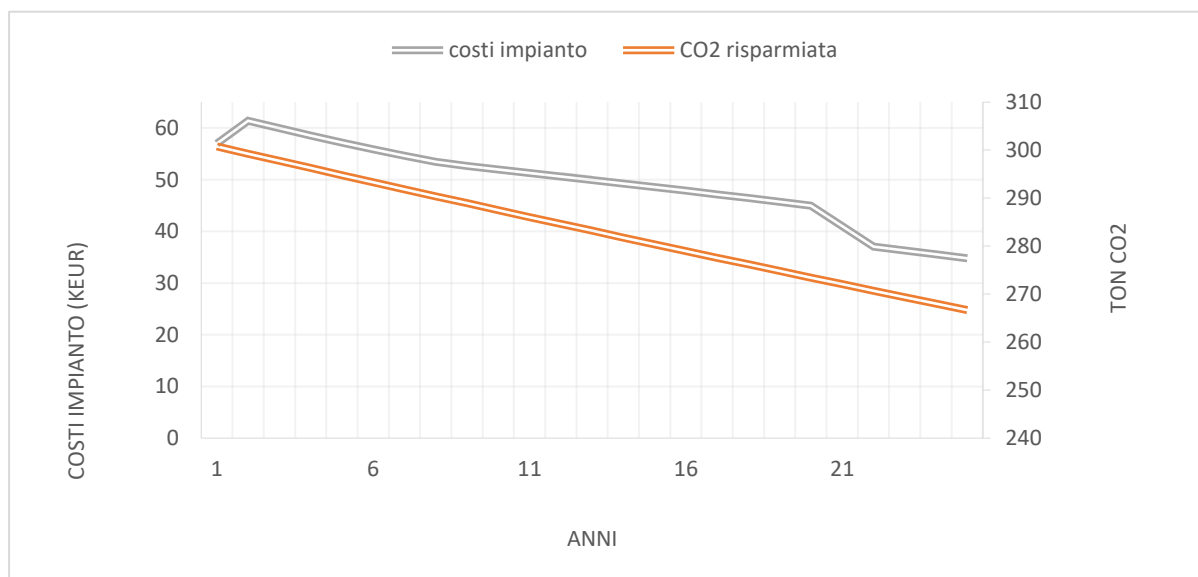


GRAFICO 6. Profilo costi-CO2 evitata risultante dai calcoli

Unendo i dati di risparmio della CO2 all'analisi macro effettuata con la SAM otterremmo, ipotizzando una produzione media commisurata ad un installato annuo di 0,3 GW per anno, una produzione

approssimativamente pari a 3.900 GWh, che, anche tenendo conto dei parametri riportati nel PNRR per quanto concerne gli obiettivi previsti dalla M2C1-investimento 1.1 Sviluppo agro-voltaico, porterebbe approssimativamente a 0,8 mln di tonnellate di CO2 risparmiate in 10 anni.

2.2 Il costo livellato dell'energia (LCOE)

In un contesto in continua evoluzione e che cerca di stare al passo con gli Obiettivi di sviluppo sostenibile¹⁵, la presentazione delle varie metriche per la valutazione dei costi dell'energia diviene un punto centrale. In questa sezione verrà presentata la metodologia LCOE nel suo complesso mentre i risultati riferiti all'impiego della tecnologia agrivoltaica nello specifico saranno opportunamente riportati nel Capitolo Terzo – Risultati.

Il costo di generazione dell'energia elettrica riflette il modello utilizzato per calcolare il valore delle variabili, attraverso una serie di possibili indicatori di costo che tipicamente sono:

- I. NPV (Net Present Value) o valore attuale netto (VAN);
- II. TLCC (Total Life Cycle Cost): è la somma dei costi necessari alla costruzione di un impianto a partire dalla fase di progettazione sino al decommissioning;
- III. LCOE (Life Cycle Cost of Energy): è una misura utilizzata per confrontare ed analizzare diverse metodologie di generazione dell'energia, che equivale al prezzo a cui l'energia dovrebbe essere venduta per raggiungere il pareggio di bilancio. L'LCOE corrisponde al TLCC diviso la produzione totale nel corso della vita dell'impianto anch'essa scontata. La produzione di energia elettrica non può essere scontata in quanto grandezza di tipo fisico ed è in realtà il valore economico della stessa ad essere scontato (IEA, 2020).

La scelta degli indicatori di costo ai quali dare maggior peso viene fatta in funzione della prospettiva del decisore e degli obiettivi prefissati (per un investitore privato, ad esempio, il valore del NPV e il tempo di ritorno degli investimenti). In questo contesto l'uso del LCOE riflette la volontà di associare al calcolo privatistico elementi di valutazione per il pubblico decisore, coerenti con i calcoli di efficacia presentati nel paragrafo precedente (risparmio di CO2) e affiancati ai costi, e con le valutazioni di impatto macroeconomico realizzate per mezzo della SAM.

La formula per il calcolo dell'LCOE è la seguente (IEA, 2020):

¹⁵ Si ricordi l'Agenda 2030 con i 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile

$$LCOE = p_Electricity = (\sum_t (Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Carbon_t + Decommissioning_t) * (1 + r)^t) / ((\sum_t Electricity_t * (1+r)^{-t}))$$

Dove:

- Investment t = Investimento all'anno (t);
- p_Electricity = Il prezzo dell'energia;
- Fuel = Costo del carburante (t), (nullo per gli impianti PV ad alimentazione solare);
- Electricity t = Output (in termini di quantità di elettricità prodotta) all'anno (t);
- r = Tasso di sconto;
- O & M (Operation and Maintenance) = Costi di funzionamento e manutenzione;
- Carbon = Costi legati alle emissioni di CO2.

Normalmente nel calcolo dell'LCOE sia il tasso di sconto sia il prezzo dell'elettricità sono costanti durante l'intera durata del progetto preso in esame (ipotesi non vera nei nostri calcoli in cui elaboriamo previsioni sul prezzo dell'energia elettrica, ma il calcolo del LCOE è stato comunque effettuato in un percorso di analisi parallelo agli altri calcoli di cui in precedenza).

Per completezza si evidenziano alcuni limiti connessi a questo indicatore:

- Scarsa accuratezza nel tenere conto della fluttuazione dei costi variabili nel lungo periodo (in particolare nei mercati con una bassa regolamentazione e con fluttuazioni di prezzo);
- Scarsa plausibilità dell'ipotesi di prezzo costante durante tutto il periodo di attività, tenendo conto che gli impianti solitamente hanno durate decennali;
- LCOE riferiti a una stessa tecnologia, ma in mercati diversi, possono essere anche molto differenti tra loro per vari motivi (come il livello dei salari);
- Non si tiene conto delle interazioni tra impianti di generazione che coesistono nel medesimo mercato;
- Non sono tenute in considerazione altre fonti, oltre a quelle previste nella formula, di ricavi o costi (nel nostro modello esistono ma non sono comunque alimentate da dati).

Tra le proposte di integrazione e superamento dell'indicatore ricordiamo molto rapidamente l'analisi proposta da Harvey [19] che parte dal presupposto che i progetti per la produzione energetica

possono essere finanziati sia tramite capitale di debito che capitale proprio, ma la formula LCOE non consente di considerarne il timing.

L'indicatore base assume a priori che il surplus di rendite generate dalla produzione possa essere reinvestito con un tasso di ritorno pari al ROE (ritorno del capitale proprio), che conduce ad una sottostima del LCOE. Ciò anche quando si utilizzi il weighted average cost of capital (WACC). Harvey dimostra che l'errore introdotto con l'uso dell'equazione del WACC nel calcolo LCOE, quando i progetti sono finanziati attraverso un mix di capitale, (debito e proprio) è trascurabile (lo stima circa al 0,02%) se il tasso di interesse dei ricavi eccedenti, che vengono reinvestiti, associati all'equity financing è lo stesso del tasso di attualizzazione [20]. Citando letteralmente, "Tuttavia, per tenere conto del tasso di interesse di reinvestimento diverso dal tasso di sconto è necessario considerare separatamente i flussi di prestito e quelli di finanziamento azionario e quindi utilizzare i loro tassi di rendimento individuali e calcolare l'LCOE medio ponderato" (Harvey, 2020).

Quanto al considerare le emissioni di CO₂, Thomas T.D. Tran e Amanda D. Smith¹⁶ cercano di introdurre il carbon pricing nel calcolo dei costi. L'equazione di partenza proposta dagli autori per integrare nell'LCOE il parametro legato all'impatto delle GHG¹⁷ sul prezzo è:

$$C_{co2} = CP \times HR \times EC \times CF \times 8760 \times (10)^{-9}$$

Dove:

- CP (\$/metricton) rappresenta il prezzo del carbone;
- HR (Btu/kWh) è l'heat rate¹⁸;
- EC (kg/MMBtu) il coefficiente di emissione di gas serra del ciclo di vita della tecnologia;
- CF il fattore di capacità¹⁹;
- 8760 è il numero di ore in un anno;
- $(10)^{-9}$ tiene conto della conversione tra MMBtu e Btu nonché tra tonnellate e kg di CO₂.

I futuri CO₂ payments scaturiscono dalla seguente formula:

¹⁶ Autori del paper "Incorporating performance-based global sensitivity and uncertainty analysis into LCOE calculations for emerging renewable energy technologies" - Applied Energy, 2018 - Elsevier

¹⁷ Con questa abbreviazione si intendono i Greenhouse Gases, ovvero, i gas ad effetto serra

¹⁸ Rapporto tra energia termica in ingresso ed elettrica in uscita, indicatore dell'efficienza energetica nelle centrali elettriche.

¹⁹ Indica il rapporto tra la produzione di energia elettrica effettiva fornita da un impianto di potenza durante un periodo di tempo e la fornitura teorica di energia che avrebbe potuto offrire se avesse operato alla piena potenza nominale in modo continuativo nel tempo.

$$FV_{co2} = C_{co2} \times [(1+i+k)^n - 1] / (i+k)$$

Dove:

- FV_{co2} sono i pagamenti futuri;
- i rappresenta il tasso di interesse;
- n l'anno del pagamento;
- k è un fattore variabile che rappresenta l'incremento del prezzo del carbone anno dopo anno.

Gli autori stimano che la variazione si attesti tra il 3% ed il 5% all'anno. L'attualizzazione avverrà per mezzo della seguente formula:

$$PV_{co2} = \sum_{n=1}^n FV_{co2} / (1+i)^n$$

Dove:

PV_{co2} rappresenta il valore attuale. Di conseguenza l'LCOE finale diviene:

$$LCOE = \{[(OCC + PV_{co2}) \times CRF + \text{Fixed O\&M}] / (8760 \times CF)\} + FC \times HR + \text{Variable O\&M}$$

La metrica LCOE rappresenta il ricavo medio per unità di elettricità generata necessario a recuperare i costi di costruzione e gestione di un impianto di generazione durante un presunto ciclo di vita finanziaria e di funzionamento (ENEA, 2019) e per questa ragione si presenta come una misura adeguata a valutare la competitività complessiva della tecnologia agrivoltaica in questo studio approfondita. I valori che considera questo indicatore sono legati fattori incerti sia di carattere regionale che temporale (si pensi all'evoluzione del costo del carburante) ed è bene dunque rivedere gli stessi valori di volta in volta a seconda delle variazioni di contesto. Le formule finora presentate saranno lo strumento utilizzato nel Capitolo Terzo per effettuare le stime sul ricavo medio per unità di energia elettrica prodotta generate dall'impianto agrivoltaico, calibrato sulla base dei dati forniti dalla società sopra citata, REM TEC S.r.l., e da [14].

2.3 Il machine learning

Machine learning [21] va tradotto letteralmente con apprendimento automatico e rappresenta il cuore della intelligenza artificiale (IA), il complesso di teorie e metodi dedicato a sintetizzare in una macchina i processi fondamentali che caratterizzano l'intelligenza umana, per come definita dal consenso scientifico corrente. A livello informatico, esso prevede un tipo di programmazione teso a sviluppare in una macchina l'abilità di apprendere qualcosa dai dati ad essa forniti in input in maniera autonoma, senza istruzioni esplicite.

Il tema è talmente noto e collaudato che pochi veloci richiami sono sufficienti a presentare una breve istantanea della materia corredata da riferimenti. Ricordiamo i due approcci qui di interesse:

a) Supervisionato

In questo caso, un data scientist agisce da guida e insegna all'algorithmo i risultati da generare. Esattamente come un bambino impara a identificare i frutti memorizzandoli in un libro illustrato, nel machine learning supervisionato l'algorithmo apprende da un set di dati già etichettato e con un output predefinito. Gli algoritmi di regressione lineare e logistica, di classificazione multi-classe e le macchine a vettori di supporto sono alcuni esempi di machine learning supervisionato.

b) Non supervisionato

Il machine learning non supervisionato utilizza un approccio più indipendente, in cui un computer impara a identificare processi e schemi complessi senza la guida attenta e costante di una persona. Il machine learning non supervisionato implica una formazione basata su dati privi di etichette e per i quali non è stato definito un output specifico. Per continuare a utilizzare l'analogia precedente, il machine learning non supervisionato è simile a un bambino che impara a identificare i frutti osservando i colori e gli schemi, anziché memorizzando i nomi con l'aiuto di un insegnante. Il bambino cercherà le somiglianze tra le immagini e le suddividerà in gruppi, assegnando a ciascun gruppo la nuova etichetta corrispondente. Gli algoritmi di clustering k-means, l'analisi di componenti principali e indipendenti e le regole di associazione sono esempi di machine learning non supervisionato. La scelta di un approccio dipende in genere da fattori correlati alla struttura e al volume dei dati e al caso d'uso a cui si desidera applicarlo. Le applicazioni del machine learning sono pari a quelle dell'intelligenza umana, virtualmente considerabili come infinite. Per fornire qualche esempio concreto con richiami al tema trattato, alcune applicazioni molto tipiche potrebbero essere: rilevamento delle anomalie di sistemi/impianti, modellazione e previsione di prezzi di commodities, manutenzione predittiva, classificazione delle immagini, motori di raccomandazione per e-commerce e via di seguito. L'apprendimento automatico ha legami molto stretti con l'ottimizzazione: molti problemi di apprendimento sono formulati come la minimizzazione di una qualche funzione di costo su un insieme di esempi di apprendimento. La funzione di costo (o funzione di perdita) rappresenta la discrepanza tra le previsioni del modello che si sta addestrando e le istanze del problema reale. Le differenze tra i due campi (l'apprendimento automatico e l'ottimizzazione) sorgono dall'obiettivo della generalizzazione: mentre gli algoritmi di ottimizzazione possono minimizzare la perdita su un insieme di apprendimento, l'apprendimento automatico si preoccupa di minimizzare la perdita su campioni mai visti dalla macchina. Ai fini della ricerca sono state utilizzate le cosiddette macchine a

vettori di supporto (Support Vector Machine, SVM) [22] un insieme di metodi di apprendimento supervisionato usati per la classificazione e la regressione di pattern. Dato un insieme di esempi di addestramento, ciascuno contrassegnato come appartenente a due possibili categorie, un algoritmo di addestramento SVM costruisce un modello in grado di prevedere a quale categoria deve appartenere un nuovo esempio di input.

2.3.1 Utilizzo di una macchina a vettori di supporto (SVM) per la simulazione del prezzo dell'energia elettrica per l'arco di vita dell'impianto

Nella costruzione del nostro modello di calcolo alcuni dati non sono disponibili per loro intrinseca natura: leggi, ad esempio, i dati relativi al prezzo futuro a cui sarà ceduta l'energia elettrica prodotta dall'impianto realizzato. Nondimeno, è comunque possibile effettuare delle previsioni ragionevolmente plausibili utilizzando i dati storici. Nel nostro caso, abbiamo utilizzato i dati (Figura 4) in serie storica forniti dal Gestore del Mercato Elettrico (GME) [23] per effettuare una previsione sul prezzo da utilizzare nei calcoli di bilancio aziendale effettuati nell'orizzonte temporale di vita dell'impianto agri-voltaico. In pratica, utilizzando i dati di sintesi MPE-MGP, contenenti le serie storiche dei prezzi di acquisto PUN annuali, abbiamo operato una previsione statistica per i 25 anni di vita dell'impianto calcolando quindi un prezzo di cessione dell'energia prodotta medio annuale, allo scopo di quantificare le relative entrate derivanti dalla vendita per l'azienda.

dati di sintesi MPE-MGP – riepilogo						
sintesi annuale						
periodo	Prezzo d'acquisto. PUN (€/MWh)			Quantità totali (MWh)	Liquidità (%)	n. operatori al 31/12
	media	min	max			
2004*	51,60	1,10	189,19	231.571.983	29,1	73
2005	58,59	10,42	170,61	323.184.850	62,8	91
2006	74,75	15,06	378,47	329.790.030	59,6	103
2007	70,99	21,44	242,42	329.949.207	67,1	127
2008	86,99	21,54	211,99	336.961.297	69,0	151
2009	63,72	9,07	172,25	313.425.166	68,0	167
2010	64,12	10,00	174,62	318.561.565	62,6	198
2011	72,23	10,00	164,80	311.493.877	57,9	181
2012	75,48	12,14	324,20	298.668.836	59,8	192
2013	62,99	0,00	151,88	289.153.546	71,6	214
2014	52,08	2,23	149,43	281.997.370	65,9	251
2015	52,31	5,62	144,57	287.132.081	67,8	259
2016	42,78	10,94	150,00	289.700.706	70,0	253
2017	53,95	10,00	170,00	292.197.128	72,2	254
2018	61,31	6,97	159,40	295.561.956	72,0	271
2019	52,32	1,00	108,38	295.827.948	72,1	286
2020	38,92	0,00	162,57	280.179.361	74,9	283
2021	125,46	3,00	533,19	290.400.194	76,2	283

* I dati sono relativi ai nove mesi dal 01/04/2004 al 31/12/2004

grafico

FIGURA 4. Serie storica prezzi energia elettrica anni 2004-2008 – Fonte: GME

Questo genere di valutazione è stato effettuato operando un confronto tra le performance in previsione di un modello lineare comparato ad una macchina a vettori di supporto. Normalmente le macchine a vettori di supporto sono caratterizzate da performance superiori nella regressione rispetto ai metodi statistici tradizionali e nel caso studio i risultati sono stati comparati mediante l'utilizzo del RMSE (Root Mean Square Error) come metrica di errore.

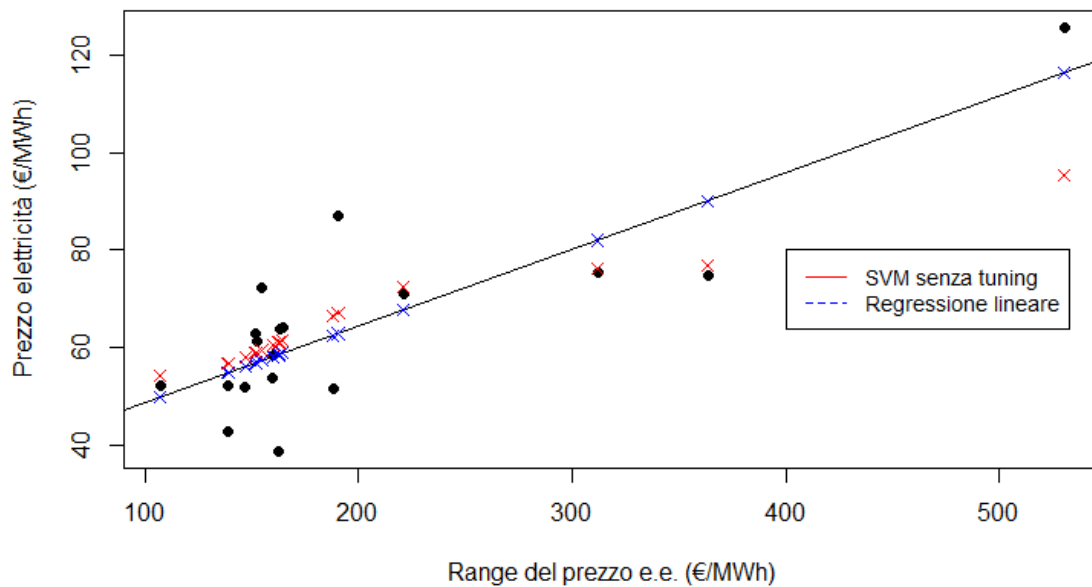


GRAFICO 7. Confronto tra SVM e modello lineare

Successivamente è stato operato un primo rudimentale tuning per migliorare la performance della SVM:

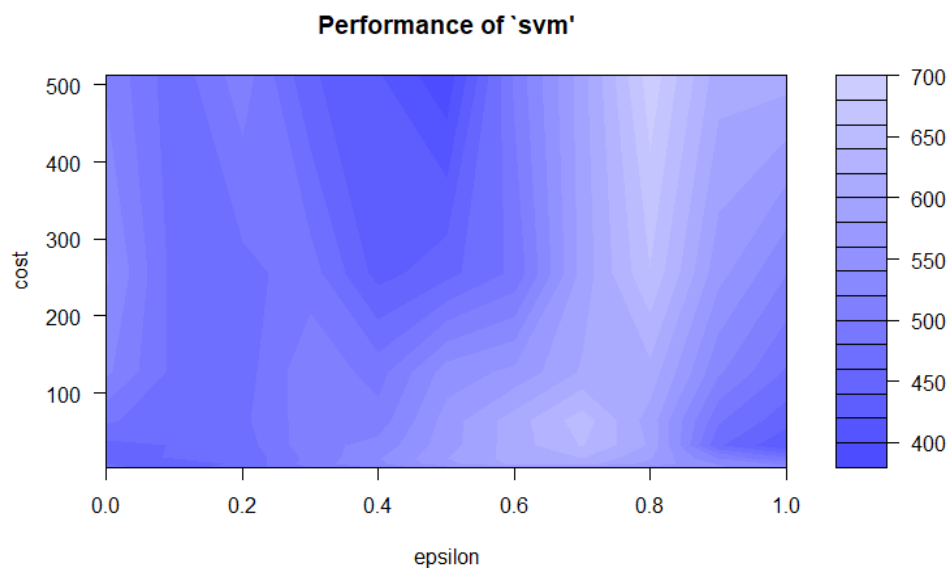


GRAFICO 8. Valutazione della performance della SVM utilizzata per il tuning

Di seguito si è identificata la regione definita nella fascia di epsilon tra 0.3 e 0.5 per effettuare il secondo tuning ottenendo un modello migliorato che ha dato luogo ai seguenti risultati descritti nella figura a seguire:

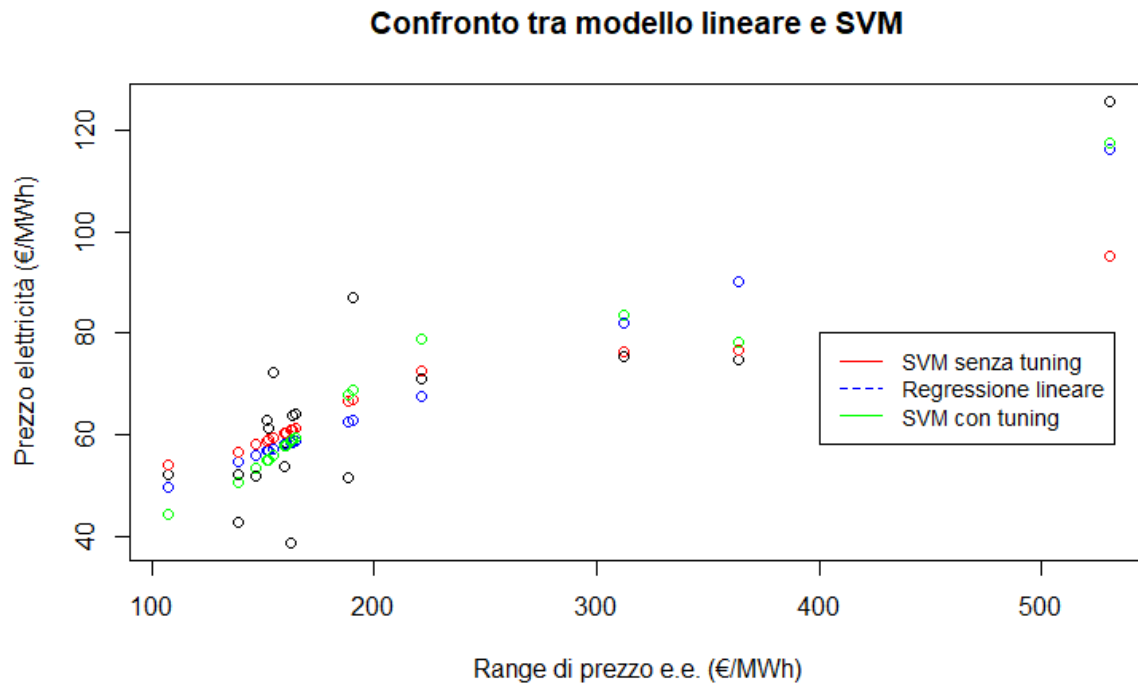


GRAFICO 9. Confronto tra SVM e modello lineare dopo il tuning

Il modello lineare è caratterizzato da un RMSE pari a 10.5 mentre la SVM commette un errore di 9.9, risultando quindi preferibile.

A questo punto, mediante il modello di SVM con tuning realizzato, è stata generata una serie storica per il prezzo dell'energia elettrica futuro da adottare nei calcoli aziendali.

Per ottenere il suddetto risultato, è stata effettuata una ipotesi sugli anni considerati facendo variare casualmente secondo una distribuzione uniforme la variabile esplicativa, il range di variazione del prezzo dell'energia elettrica, con una varianza sui dati originari del $\pm 20\%$.

Il risultato ottenuto, fatto variare con una simulazione Monte Carlo basata su 1000 repliche, è stato impiegato come input per la previsione della SVM.

	Range prezzo e.e.	Prezzo energia elettrica previsto
1	156	57.5684
2	153	57.26035
3	150	56.99373
4	222	70.22211
5	316	78.8459
6	270	77.21998
7	244	74.18864
8	220	69.81211
9	190	63.32615
10	159	57.91628
11	170	59.50174
12	188	62.90599
13	180	61.29551
14	160	58.04078
15	141	56.45537
16	374	81.68935
17	131	56.33866
18	155	57.46121
19	164	58.57963
20	161	58.16944
21	137	56.34685
22	150	56.99373
23	105	58.38316
24	186	62.49201
25	597	108.0321

TABELLA 5 - Previsione prezzi di cessione energia elettrica mediante SVM

2.4 La Matrice di Contabilità Sociale (Social Accounting Matrix, SAM)

La SAM consente di rappresentare la struttura dell'economia ed evidenziarne la circolarità. In questo contesto siamo particolarmente interessati alle sue funzioni di potenziale indirizzo e supporto delle politiche d'investimento pubblico, dal momento che vogliamo allargare l'orizzonte di questa ricerca alle vesti del decisore pubblico e non più ai soli obiettivi di carattere imprenditoriale.

La SAM è di fatto una generalizzazione del modello di Leontief ma possiede potenzialità superiori in particolare per la valutazione dei progetti di investimento, cosa che qui rileva soprattutto con riferimento agli effetti indiretti degli investimenti produttivi nei periodi di cantiere e di regime.

Essendo l'argomento storicamente trattato da una notevole serie di riferimenti e lavori accademici, si propongono solo alcuni riferimenti necessari a una prima introduzione alla sua comprensione ed utilizzo.

In quanto struttura matriciale, la SAM riporta i flussi monetari che intercorrono tra i diversi operatori nelle varie fasi del processo economico (produzione, distribuzione, consumo ed accumulazione) sotto forma di matrice a doppia entrata: per colonna, si evidenzia il complesso dei pagamenti dell'aggregato considerato verso tutti gli altri aggregati; per riga, sono riportati i flussi in entrata (in pratica, la formazione dei redditi di ciascun aggregato a fronte dei pagamenti di tutti gli altri).

La SAM mostra il processo distributivo e redistributivo del reddito, includendo i settori istituzionali. Il sistema economico viene rappresentato da sette diversi blocchi fondamentali:

- ✓ Fattori primari di produzione (Lavoro, Capitale);
- ✓ Settori produttivi (Agricoltura, Industria, Servizi);
- ✓ Famiglie;
- ✓ Imprese;
- ✓ Governo (Pubblica amministrazione);
- ✓ Formazione di capitale (Investimenti fissi lordi, pubblici e privati);
- ✓ Resto del mondo.

Ogni blocco è suscettibile di ulteriore disaggregazione in funzione degli obiettivi dell'analisi.

I conti dei settori istituzionali evidenziano in particolare il ruolo delle istituzioni nella formazione dei consumi e degli investimenti, laddove quello del Resto del mondo si occupa di importazioni ed esportazioni.

Il blocco Lavoro riporta i redditi da lavoro dipendente pagati ai lavoratori (retribuzioni lorde + oneri sociali); quello del Capitale è dato dal Risultato lordo di gestione al costo dei fattori; Famiglia rappresenta gli investimenti lordi, la variazione delle scorte e gli ammortamenti; infine, Imprese i contributi sociali in corrispondenza della Pubblica Amministrazione.

La produzione intersettoriale dei macrosettori Agricoltura, Industria e Servizi riporta la produzione distribuita a prezzi ex-fabbrica (per colonna, divisa in redditi da lavoro e da capitale) in scambi di prodotti intermedi di ogni macro-branca con le altre, in imposte indirette sui prodotti al netto dei contributi alla produzione, pagate alla Pubblica Amministrazione e sotto forma di pagamenti per le materie prime importate (al lordo delle tasse) in corrispondenza della riga relativa al Resto del mondo. Per i Consumi della PA, i flussi totali del settore Governo sono pari al valore delle prestazioni sociali sommati ad altri trasferimenti alla Famiglie e alle Imprese, alle spese per i Servizi, al risparmio del Governo, in corrispondenza della riga intestata alla Formazione del capitale, e per finire ai trasferimenti erogati dal Resto del mondo.

La Formazione di capitale riporta per colonna la distribuzione della Variazione delle scorte e degli investimenti fissi lordi totali attraverso i macrosettori e il Resto del mondo.

Il Resto del mondo rappresenta infine il totale del flusso di cassa dalle Famiglie in consumi, redditi da lavoro dipendente, prestazioni sociali e versamenti ed effettua trasferimenti alle Imprese e pagamenti alle Attività economiche per i beni esportati.

Nell'analisi, è importante distinguere tra gli effetti dei cosiddetti periodi di cantiere (o di costruzione) e di regime.

Per quanto concerne il periodo di costruzione del progetto, esso può essere considerato uno shock esogeno, distribuito secondo un particolare profilo di spesa, nel settore-istituzione formazione di capitale, in quanto consiste nell'acquisto di beni capitali (quei beni la cui durata eccede il periodo di produzione) dai settori produttori: l'acquisto di tali beni (se c'è capacità produttiva inutilizzata) innesca una serie di effetti concatenati poiché i settori la cui domanda viene accresciuta dalle esigenze del progetto a loro volta si rivolgono ai loro fornitori facendone crescere la domanda in un processo che può coinvolgere, in misura varia, tutti i settori. Indi si innesca un secondo circuito moltiplicativo, ancora più potente, perché aumenta il potere d'acquisto e quindi la spesa di istituzioni quali le famiglie e le imprese.

Quanto un progetto riesca a coinvolgere vari settori e istituzioni di una economia è funzione dell'adattabilità dei profili di spesa delle istituzioni in risposta agli shock (è noto in letteratura, ad esempio, che la spesa delle famiglie e delle imprese si adatta anche a piccoli cambiamenti del reddito,

mentre quella del governo e le esportazioni è influenzata da tali cambiamenti solo se essi sono sufficientemente rilevanti).

Nel periodo di costruzione il progetto è assimilabile ad un centro di spesa (ma non di produzione) e va assegnato a un settore che operi anch'esso allo stesso modo (normalmente, "formazione del capitale", ma altri settori possono essere scelti a seconda delle circostanze).

Nel periodo di regime, il progetto diviene sia centro di spesa che di produzione, ma poiché accresce il capitale tangibile o intangibile di altri settori va in genere attribuito a uno o più settori che, se parte della sezione input-output della SAM saranno cosiddetti settori "proprietary", ossia settori il cui capitale si accresce come conseguenza del progetto. Se il progetto ha come conseguenza l'incremento di capitale umano o sociale, esso va attribuito alle istituzioni che ne beneficiano.

Nel periodo di cantiere il settore esogeno è generalmente formazione del capitale, in quanto in tale settore vengono registrati tutti gli investimenti nei settori produttori: nel periodo di regime, invece, il settore da rendere esogeno corrisponde a quello/i a cui è possibile attribuire l'investimento realizzato in termini di aumento di capacità produttiva. Se per esempio si sta effettuando l'analisi di un progetto su una centrale elettrica, il settore da rendere esogeno è quello dell'energia perché è in tale settore che si realizza la spesa nel periodo di regime. Considerare esogeno il settore di intervento del progetto significa matematicamente immettere uno shock in tale vettore non secondo i dati registrati in contabilità (la colonna della matrice) ma usando le voci di costo dell'analisi finanziaria del progetto.

Il secondo problema nel periodo di regime riguarda la stima del cosiddetto scenario controfattuale: esso consiste in un possibile investimento alternativo dello stesso ammontare di quello previsto (o una quota dello stesso). Per il periodo di cantiere si può usare il vettore di investimento storico contenuto nella SAM usata: nel periodo di regime il controfattuale prende la forma di un'ipotesi di spesa alternativa (se l'analisi finanziaria ha un VAN positivo) o una spesa alternativa più l'importo del VAN negativo se l'analisi finanziaria è negativa.

Se il VAN è positivo il controfattuale è uguale ai costi di gestione (quello storico è la media ponderata di tutti i costi di produzione intermedia dei settori, dei fattori e delle tasse); se è negativo ai costi di gestione del progetto analizzato si somma il VAN negativo necessario al progetto per ripianare le perdite cioè i costi che non possono essere impiegati liberamente nell'economia ma debbono ripagare tutte le spese del progetto realizzato.

Nella sezione che segue verrà mostrato il risvolto applicativo della SAM per la valutazione macroeconomica dell'impianto agrivoltaico.

2.4.1 La Matrice di Contabilità Sociale applicata all'agrivoltaico

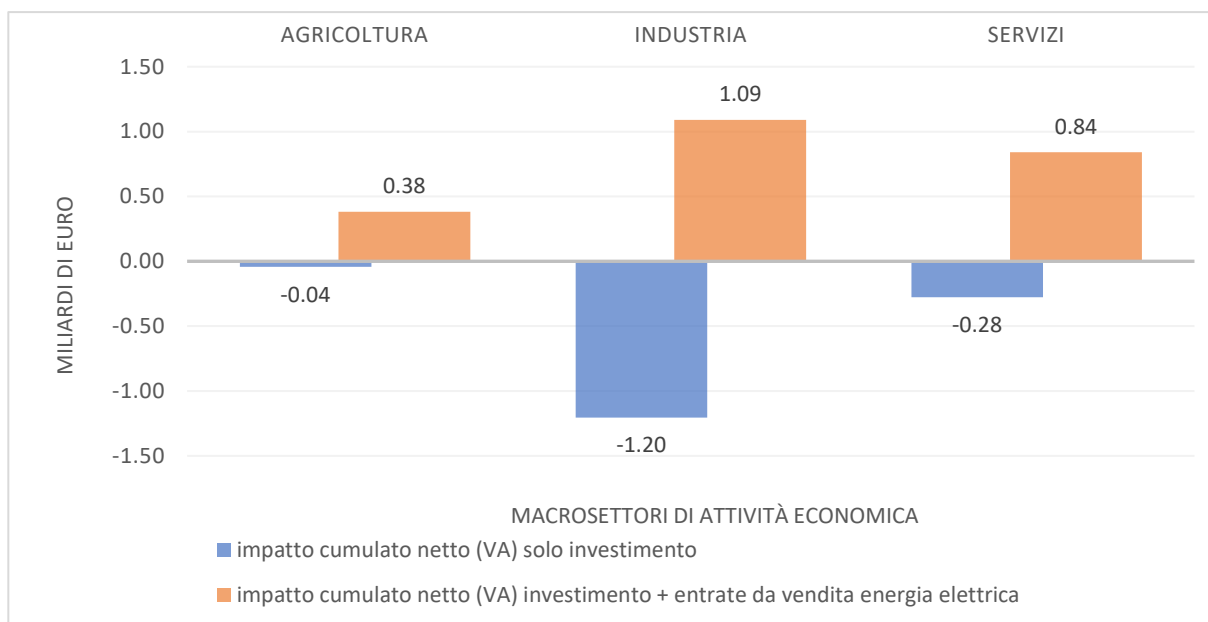
In questo paragrafo si propone un'analisi effettuata relativamente all'impatto di investimenti nella tecnologia agrivoltaica sotto forma di variazione del valore aggiunto dei settori di attività economica e unità di lavoro attivate (ULA), in uno scenario ipotetico in cui un ammontare di investimenti multiplo di quelli attualmente previsti dal PNRR (3 miliardi di euro, arrotondando gli 1,10 miliardi del piano) è allocato in un periodo di 10 anni, in dieci tranches equamente suddivise in ognuno degli anni considerati (300 milioni di euro all'anno). L'analisi svolta ha lo scopo di stimare la magnitudo degli impatti di tali investimenti sull'economia nazionale e, contestualmente, di suggerire ulteriori e più qualificati approfondimenti. Le ipotesi formulate sono estremamente semplici, e connesse alle sperimentazioni effettuate relativamente ai calcoli svolti per la simulazione dell'impatto finanziario dell'integrazione dell'impianto agrivoltaico nelle aziende interessate. Dai calcoli svolti a livello di bilancio aziendale risulta un impatto medio di circa 230.000 euro mensili netti in entrata per le singole aziende interessate.

Abbiamo utilizzato le previsioni sull'installato effettuate nel PNRR e relative a 3GW di agrivoltaico, in un orizzonte temporale di 10 anni. Per ogni miliardo investito, è stato ipotizzato un investimento medio, per la taglia di impianto utilizzato nei calcoli, di 1 milione di euro a MW installato, il che ci porta a considerare per ogni miliardo di euro un totale di 3000 imprese coinvolte negli investimenti. Moltiplicando per 3 il guadagno medio, otteniamo un totale di circa 1,2 miliardi di euro in media di entrate dalla vendita di energia elettrica per le imprese medesime.

È stato ipotizzato altresì che le entrate siano investite con un profilo di spesa sostanzialmente identico a quello del controfattuale storico della matrice utilizzata, ed i risultati sono i seguenti.

L'impatto calcolato è al netto del cosiddetto scenario controfattuale, quello relativo agli investimenti che si sarebbero realizzati in alternativa al progetto considerato secondo una media degli investimenti storici precedenti.

Impatto VA



Impatto ULA

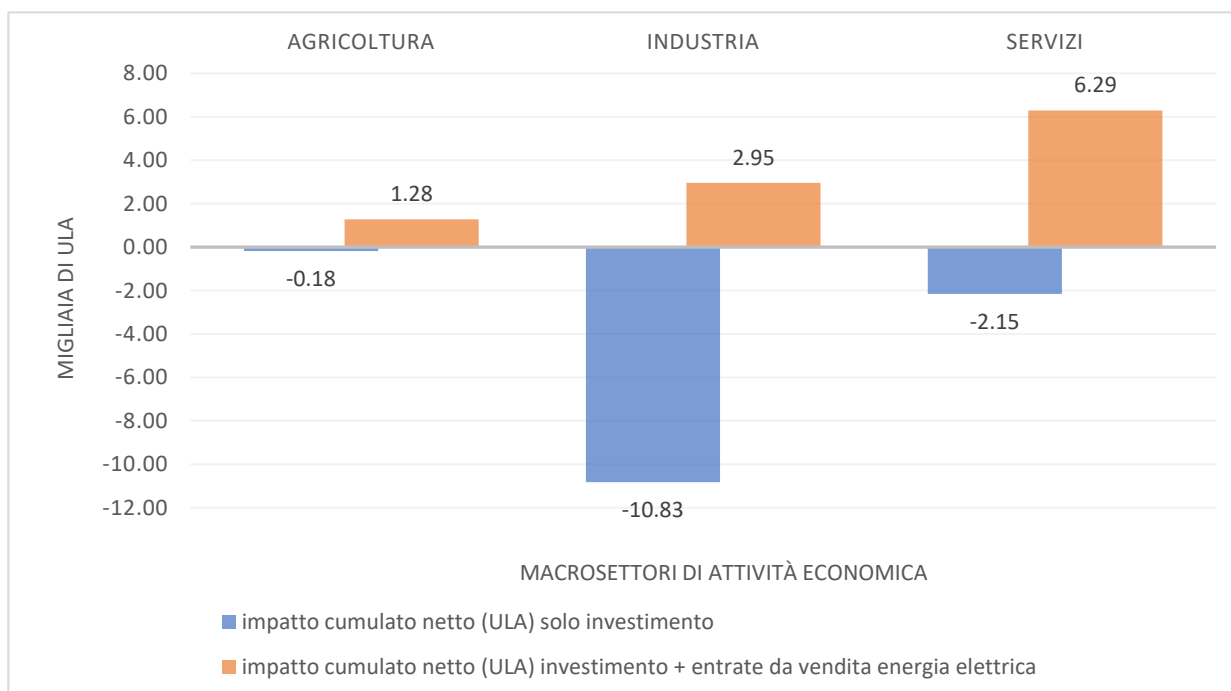


GRAFICO 10. Risultati impatto economico investimento PNRR in agrivoltaico nel caso studio.

L'effetto espansivo è evidente: il cumulato totale dell'impatto è 7.22 miliardi di euro considerando i macrosettori di attività economica raffigurati nelle due figure che a fronte dell'investimento cumulato di 5 miliardi di euro corrispondono ad un moltiplicatore di 1.44, contro lo 0.99 del controfattuale storico.

Tutti i settori registrano un impatto positivo, ad eccezione del settore Costruzioni (gli scenari precedenti sono maggiormente espansivi, in particolare tenendo conto del ridotto impatto su tale settore per gli investimenti nella tecnologia considerata).

È da considerare inoltre che nella simulazione si considera una forte quota di importazioni per la costruzione degli impianti (circa l'80%), cosa che porterebbe il moltiplicatore molto al di sotto di 1, in assenza dell'ipotesi di reinvestimento dei proventi della vendita di energia elettrica.

Il modello di calcolo che abbiamo utilizzato nell'analisi tiene conto di tutte le informazioni essenziali da integrare nel bilancio aziendale e che rappresentano sia la dimensione economica che quella energetica ed ambientale sotto forma di variabili specifiche da stimare o quantificare mediante dati disponibili. La forma generale del complesso degli input del modello è rappresentata dalla tabella sottostante. Descrivendo le variabili ed il modo in cui sono state stimate possiamo offrire una prima introduzione alla struttura analitica costruita ad-hoc per rispondere alle domande relative agli effetti dell'adozione della tecnologia agri-voltaica in una PMI agricola.

INPUT MODELLO

Fluttuazione prezzo energia elettrica vendita min	0.02 €	Euro
Fluttuazione prezzo energia elettrica vendita max	0.20 €	Euro
Fluttuazione prezzo acqua min	1.00 €	Euro
Fluttuazione prezzo acqua max	20.00 €	Euro
Costo medio dell'acqua	350.00 €	Euro/ha
Risparmio idrico	25%	%
Fluttuazione resa min	1%	%
Fluttuazione resa max	5%	%
Valore coltura (carota) resa per ettaro	280.00	Quintali/ha
Prezzo coltura (carota) per ettaro	50.00	Euro/ha
Quota coltura X su totale	10%	%
Valore medio fatturato	360,000.00 €	Euro
Fluttuazione fatturato min	-10%	%
Fluttuazione fatturato max	20%	%
Valore medio costi	223,200.00 €	Euro
Fluttuazione costi min	1%	%
Fluttuazione costi max	10%	%
Costi straordinari	100.00 €	Euro
Fluttuazione COSS min	1%	%
Fluttuazione COSS max	5%	%

TABELLA 6 - Parametri di input del modello usato.

Dove le variabili riportate hanno il significato seguente:

Fluttuazione del prezzo dell'energia min e max: questi valori rappresentano l'estremo inferiore e superiore del campo di variazione del prezzo dell'energia elettrica, inteso come il prezzo dell'energia ceduta alla rete che definisce i ricavi da vendita di elettricità per la PMI agricola. Si tratta di valori che possono essere determinati in vari modi, ad esempio osservando i dati storici di un certo periodo

passato e assumendo che la variazione futura nell'arco di vita produttiva dell'impianto rifletta in qualche modo tale variabilità e quindi sia possibile usare minimo e massimo di tale periodo per impostare tali valori. Naturalmente tali scelte sono arbitrarie e presumibilmente fondate su assunzioni ad-hoc da valutare caso per caso. Per quanto riguarda tali valori, nel nostro caso la scelta è stata totalmente arbitraria e centrata su un valore di riferimento tipico trovato sulla rete (0.15 Eur/kWh): su tale valore è stato poi impostato un range di variabilità molto ampio (-10% - 50%)²⁰allo scopo di tenere conto di una incertezza molto grande relativa a questa commodity critica (così come per il prezzo dei combustibili fossili, ad esempio). Fare ciò è anche compatibile con una impostazione fortemente cautelativa, riguardo ai calcoli aziendali, utile ad aumentare il livello di robustezza (o di anti-fragilità, ancora meglio) nel supporto decisionale all'impresa.

Importante sottolineare che il lavoro proposto è eminentemente metodologico e quindi in questo contesto non dipendente dalla presenza di dati reali che, del resto, sarebbe anche non immediato individuare e che potrebbero per loro natura variare drammaticamente (vedi anche variabili similari come il prezzo del gas). Inoltre, tali variabili saranno, in una sperimentazione parallela non considerate poiché oltre a questo metodo, per la determinazione del prezzo dell'elettricità, è stata usata anche una stima del prezzo stesso effettuata mediante tecniche statistiche e di machine learning sulla base dei dati storici, come abbiamo visto nel Paragrafo 2.3.1.

Fluttuazione prezzo acqua min e max come in precedenza tali valori riflettono il campo di variabilità assunto per la variabile prezzo dell'acqua e ricalcano la logica applicata in precedenza ma con una banda di oscillazione più contenuta in quanto la variabile acqua si presenta come maggiormente critica rispetto alle commodities energetiche e quindi caratterizzata da una minore variabilità.

Costo medio dell'acqua per ha è stato fissato a 350 Eur/ha, ricavato dai dati aziendali di una PMI agricola italiana reale del Consorzio di Bonifica Litorale Romano Nord.

Risparmio idrico è stato calcolato come segue:

$RI = CA * \%R$
$CA = CmA * SIav * Flm$

Dove:

- RI = risparmio idrico (euro);

²⁰ Chiaramente la variabilità inferiore è più limitata di quella superiore in quanto il prezzo è ragionevolmente meno elastico verso il limite inferiore.

- CA = costo della risorsa acqua (euro);
- %R = percentuale di risparmio idrico sul costo totale CA²¹(%);
- CmA = costo medio della risorsa idrica dedotto come sopra riguardo al prezzo dell'acqua (euro/ha);
- SIav = superficie interessata dall'impianto agrivoltaico (ovvero ettari su cui calcolare il risparmio idrico);
- Flm = fluttuazione media del CmA (in %).

Fluttuazione resa min/max coltura X si tratta del campo di variazione percentuale della resa delle colture interessate ovvero sottostanti alla struttura dell'impianto. Nel caso studio abbiamo ipotizzato di considerare una sola coltura X, naturalmente ricordando che le colture anche attualmente interessate da sperimentazione sono molteplici, allo scopo di tenere conto di tale variabile nel modello. Questa scelta è giustificata sia dal fatto che l'impianto potrebbe estendersi su quote significative dell'azienda in termini di ha, e quindi avere un effetto rilevante sulle colture, sia dalla necessità di evidenziare come per la PMI media sia l'attività primaria il vero focus aziendale, cosicché l'integrazione di qualunque tecnologia debba essere sempre armonica con lo stesso (è la tecnologia che deve armonizzarsi con le coltivazioni e non il contrario).

Valore resa coltura X per ha abbiamo inserito un valore relativo alla coltura carota tipico della zona del Litorale Romano Nord, ovviamente molto indicativo data la variabilità di tali parametri nel corso del tempo sotto l'influenza di molteplici fattori condizionanti.

Prezzo coltura X per ha è stata considerata la media aritmetica tra minimo e massimo per il prodotto carote sfuse secondo i dati pubblicati da UNIONCAMERE - Centro Agroalimentare Roma per il periodo di luglio 2022. Anche in questo caso non serve ricordare che i prezzi di contrattazione di tali prodotti sono soggetti a variazioni giornaliere e sono quindi da considerarsi nel caso studio come puramente indicativi.

²¹ La percentuale di risparmio idrico sul consumo totale per coltivazione è stata indicata dall'azienda REM TEC S.r.l. in un range definito tra -25% e -60% ed è stata adottata la percentuale di risparmio minimo per fornire la misura più conservativa possibile.

Quota coltura X su totale rappresenta la percentuale di SAU dell'azienda interessata relativa alla coltura esaminata. Nel nostro caso è stato inserito un valore del 10%, totalmente arbitrario e fissato in tal modo nell'ipotesi di una coltura che abbia un peso relativamente basso sul totale.

Valore medio fatturato è stato considerato il valore derivante dalla seguente formula:

$$F = PLV * ha$$

Dove:

- PLV è intesa come produzione lorda vendibile per ettaro di SAU;
- ha è la superficie in ettari dell'azienda

Nei calcoli abbiamo tenuto conto di una dimensione aziendale di circa 100 ettari focalizzandoci quindi sulle PMI di grande dimensione (secondo la classificazione dimensionale Istat): naturalmente si tratta di una scelta arbitraria.

I parametri utilizzati sono relativi al rapporto RICA 2021²² [24] in cui sono riportati i risultati economici e produttivi e le caratteristiche strutturali, sociali ed ambientali delle aziende agricole italiane nel periodo 2016-2019.

I ricavi totali sono costituiti dalla somma della Produzione Lorda Vendibile e dei ricavi da attività complementari (come agriturismo, contoterzismo, etc.). Nel nostro caso abbiamo trascurato per semplicità le attività complementari (che possono essere facilmente integrate nella struttura modulare del modello), cosicché il reddito netto è considerabile come ricavi – costi fissi e variabili²³.

Valore medio Costi è stato considerato il valore derivante dalla seguente formula:

Dove:

- F = fatturato = ricavi = PLV;
- Rn = Reddito netto.

Nel nostro caso, il valore medio relativo al Lazio è pari a circa il 60% dei ricavi.

²² In questa pubblicazione redatta dal CREA vengono proposte le analisi sviluppate a livello nazionale, regionale e provinciale, da coloro che fanno parte della complessa macchina organizzativa e che conoscono in maniera approfondita le metodologie di rilevazione. L'intento è quello di fornire un ampio quadro informativo sullo stato e sull'evoluzione delle aziende agricole, in maniera dettagliata e complementare rispetto alle fonti statistiche già disponibili.

²³ Vedi pagina 25 del rapporto RICA 2021.

Costi straordinari è una voce che rappresenta eventuali costi legati ad eventi unici o rari non ricadenti nella copertura di un'assicurazione che vanno considerati come misura media dell'impatto dei suddetti costi in un arco di tempo relativamente lungo equiparabili a una previsione/stanziamento di fondi legata agli eventi suddetti. Nel modello sono quindi stati inseriti con una misura puramente arbitraria solo per evidenziare questa occorrenza. La misura prescelta, parametrata sugli ha, è di 50 euro ad ha che, nel caso di aziende oltre i 100 ettari significa circa 5000 euro per queste spese impreviste a livello annuo.

Fluttuazione COSS min e max rappresenta la fluttuazione percentuale media annua dei costi soprastanti, qui definita in misura arbitraria fra lo 0% e il 5%, il che equivale a dire che supponiamo che tali costi siano ineliminabili e abbiano una incidenza media abbastanza costante e stabile, ipotesi ovviamente arbitraria che può essere modificata variando i valori dei parametri stessi nel modello ove ricorrano informazioni tali da fornire indicazioni probabili sull'andamento dei costi suddetti.

FOCUS SUL MODELLO DEDICATO AL LCOE

I calcoli relativi al costo livellato dell'energia sono stati effettuati mediante un modello sviluppato dalla società Black and Veatch per lo stato della California nel contesto del progetto RETI'S [25] e sono rappresentati di seguito.

Technology Assumptions	
Potenza (kW)	1000
Costo del capitale (€/kW)	1,455.00 €
O&M fissi (€/kW-yr)	
O&M fissi (crescita)	0.0%
O&M variabili (€/MWh)	€0.0
O&M variabili Escalation	0.0%
Costo del combustibile (€/MBtu)	€0.00
Costo del combustibile Escalation	0.0%
Heat Rate (Btu/kWh)	0
Capacity Factor	17%
Entrate miste (€/MWh)	€0
Escalation entrate miste	0.0%
Degradation rate	0.5%

Financial/Economic Assumptions	
Percentuale debito Banche	50%
Tasso di interesse Banche	5.00%
Durata debito Banche (anni)	25

Economic Life (years)	25
% 5-anni ammortamento MACRS	0%
% 7-anni ammortamento MACRS	0%
% 15-anni ammortamento MACRS	0%
% 20-anni ammortamento MACRS	100%
Crescita prezzo energia elettrica	0.0%
Percentuale tassazione su capitale prestato	10%
Costo Equity (investitori diversi da Banche)	5.00%
Tasso di sconto progetto	0%
WACC	5.0%

Subsidies	
PTC (€/MWh)	€0
PTC crescita	0.0%
PTC durata	8
ITC	0%
ITC base deprezzamento	100%

Outputs	
NPV Equity Return	€0
LCOE	€88.02

I valori che in particolare abbiamo utilizzato a livello pratico per il calcolo del LCOE sono quelli presi dal riferimento di Agostini et al [23] in merito alla letteratura sulla tecnologia agri-voltaica e sono i seguenti:

Potenza (kW)	1000
Costo del capitale (€/kW)	1,455.00
O&M fissi (€/kW-yr)	20.50
Degradation	0.5%
Percentuale debito Banche	50%
Tasso di interesse Banche	5.00%
Costo Equity	5.00%
LCOE	88.02 €/MWh

L'LCOE finale riflette quello di (Agostini et al) e conferma la calibrazione effettuata per gli altri parametri allo scopo di replicare il valore del costo dell'articolo usato come riferimento.

È stata quindi condotta una simulazione di tipo Monte Carlo per 1000 repliche allo scopo di, dati i range di variazione definiti per i parametri, calcolare dei valori medi per le variabili principali di output obiettivo del modello.

La figura sottostante illustra i risultati della simulazione suddetta:

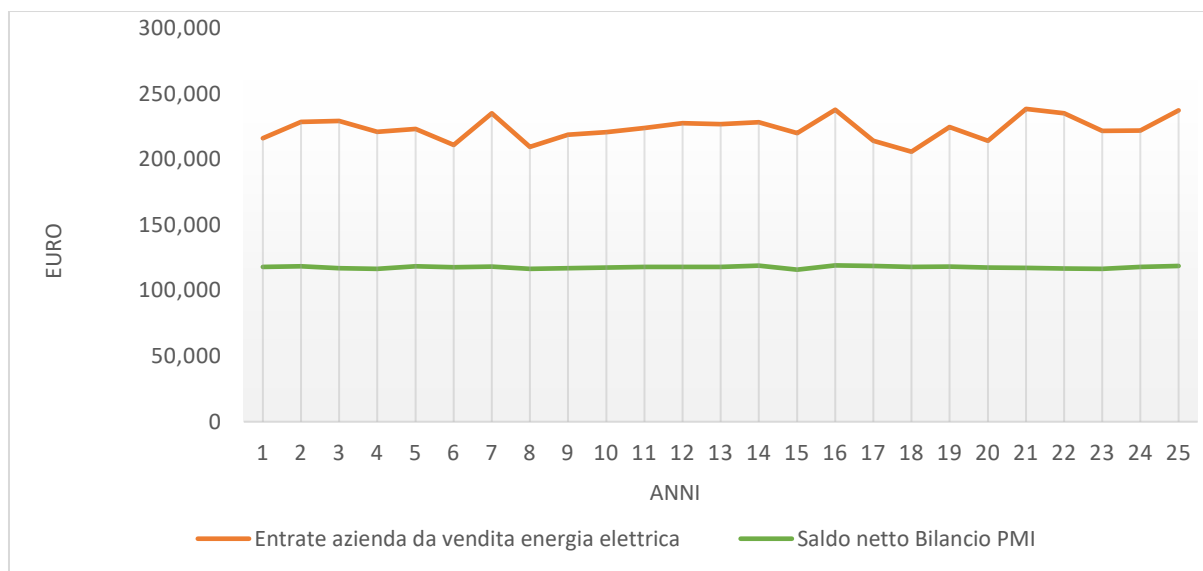


GRAFICO 11. Risultati del modello nell'orizzonte di vita dell'impianto in termini di entrate da vendita di energia elettrica re saldo di bilancio.

Come è possibile osservare, a fronte delle ipotesi fatte, piuttosto conservative relativamente al bilancio aziendale, le entrate da vendita di energia elettrica sono assolutamente significative se comparate al saldo di bilancio aziendale, pur nelle ipotesi di estrema variabilità che sono state adottate nel computo della simulazione. La tabella seguente riporta i valori medi e cumulati ottenuti dalla simulazione per le variabili di interesse:

VALORI MEDI	MEDI	CUMULATI
Energia	224	5593
Acqua	1	32
Resa	9	220
Entrate	360	8995
Uscite	237	5913
Saldo	118	2944

TABELLA 7 - Risultati medi e cumulati del modello usato in termini economici (kEur) nell'arco di vita dell'impianto.

La vendita di energia elettrica garantisce, nell'arco di vita dell'impianto (25 anni) una entrata annuale media di circa 225 mila euro e un totale cumulato nel periodo di oltre 5,5 milioni di euro, largamente superiore al costo di investimento sopportato. Confrontando tali cifre con le ipotesi sul fatturato, i costi e il corrispondente saldo di bilancio aziendale, emerge la rilevanza dell'apporto finanziario che l'impianto AV è in grado di fornire ad una azienda di queste dimensioni mentre per quanto concerne le variabili relative alle voci Acqua e Resa delle colture l'impatto è chiaramente poco rilevante solo per via delle ipotesi formulate, ovvero per via del fatto che la quota di SAU occupata è estremamente piccola rispetto alla dimensione aziendale e di conseguenza, il risparmio idrico corrispondente assume valori estremamente bassi rispetto al livello del saldo di bilancio. Lo stesso esperimento è poi stato replicato utilizzando per la stima del prezzo futuro dell'energia elettrica i risultati della simulazione condotta per mezzo di macchine a vettori di supporto riportati nel Paragrafo 2.3.1. in cui tali risultati sono spiegati e commentati.

Eseguendo nuovamente la simulazione con l'uso dei suddetti risultati per il prezzo dell'elettricità si ottiene quanto segue:

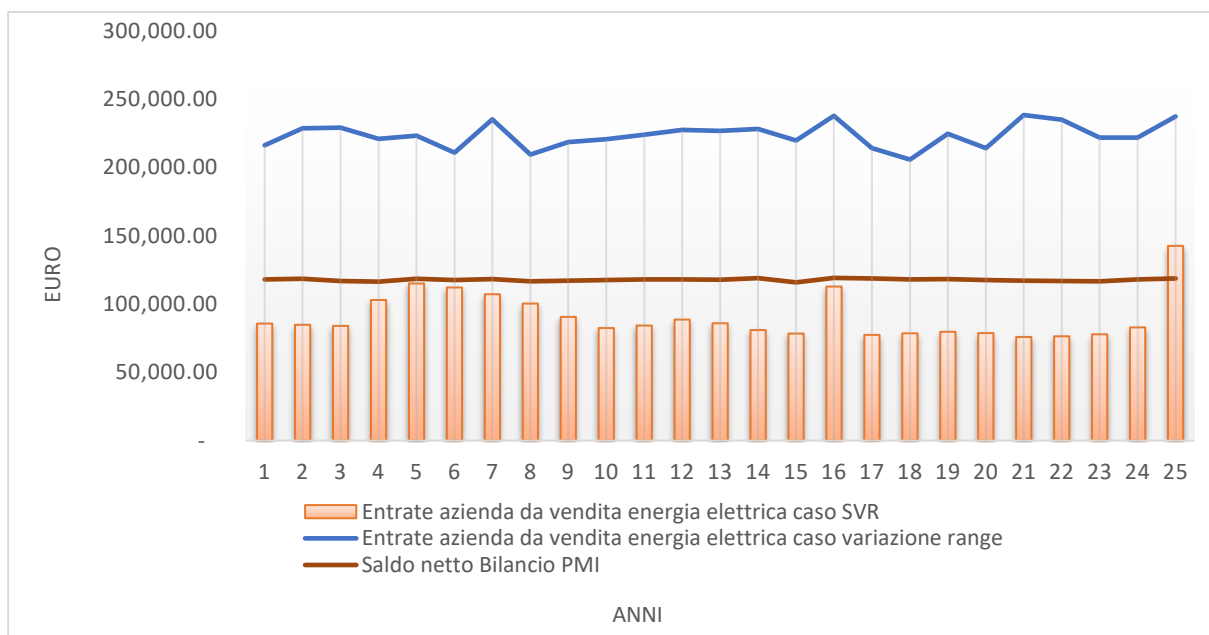


GRAFICO 12. Risultati del modello nell'orizzonte di vita dell'impianto in termini di entrate da vendita di energia elettrica e saldo di bilancio con differenziazione per le previsioni sulle entrate da vendita di energia elettrica effettuate con metodi Monte Carlo e con regressione a vettori di supporto SVR.

La regressione su dati storici mostra ovviamente un profilo, sebbene di notevole variabilità, molto più contenuto nelle oscillazioni rispetto alle ipotesi da noi precedentemente formulate. A livello generale, possiamo affermare che, il primo tipo di esperimento si presta all'elaborazione di scenari che prevedano anche ipotesi estreme mentre il secondo è più adatto allo studio di ipotesi conservative in linea con il passato documentato.

Il presente studio si è posto l'obiettivo di analizzare gli effetti generati dall'introduzione di un impianto agrivoltaico all'interno del bilancio aziendale di una PMI agricola.

L'obiettivo di cui sopra è stato raggiunto mediante la creazione di un modello di costo che tenesse conto al proprio interno dei fattori fondamentali che un imprenditore agricolo dovrebbe necessariamente considerare al fine di effettuare una scelta di investimento razionale. Questi aspetti riguardano la resa delle colture, che non deve essere compromessa dalla presenza dell'impianto, il risparmio idrico generato dall'installazione di un eventuale impianto di irrigazione di precisione sulla tensostruttura stessa e, infine, il valore economico associato alla vendita di energia prodotta.

Mettendo a sistema queste tre dimensioni, la scelta di investire in un sistema agrivoltaico nel caso di una PMI agricola mostrerebbe esiti favorevoli: i quattro cardini metodologici impiegati per i calcoli, ovvero l'analisi costi-efficacia per la riduzione della CO₂, la metrica LCOE per stimare la competitività della tecnologia rispetto alle concorrenti, il machine learning per la riduzione del margine di errore nella stima del prezzo dell'energia elettrica e la valutazione di impatto macroeconomico effettuata per mezzo della Matrice di Contabilità Sociale (SAM), hanno in tutti i casi mostrato un rapporto costi/benefici ottimale.

Ciò che meriterebbe uno studio e un impegno più approfondito nel prossimo futuro è soprattutto la questione dell'accesso ai finanziamenti per poter effettuare l'investimento in oggetto, questione dirimente riguardo al successo della tecnologia analizzata in termini di concreta adozione nelle PMI nostrane. Le analisi condotte mostrano esiti favorevoli a sostegno di questa tecnologia sia a livello di guadagno proveniente dal mix di produzione energetica e resa delle colture, sia a livello di responsabilità sociale verso quelli che sono gli obiettivi nazionali ed internazionali per la salvaguardia del Pianeta. Poco intuitivo è quindi il fatto, considerando che alcuni impianti pilota sono stati messi in funzione già dal 2011 con buoni risultati, che la tecnologia non sia ancora così diffusa come normalmente dovrebbe essere. Ci si domanda se sussistano problemi solo di carattere economico legati all'ingente dotazione finanziaria necessaria per affrontare l'investimento o questioni legate alla presenza di infrastrutture valide complementari allo sviluppo dell'impianto stesso, nonché fenomeni di lock-in tecnologico legati alla cultura conservatrice che permane in buona percentuale nel settore agricolo facendo da barriera alle nuove pratiche agricole più sostenibili.

L'intento del lavoro svolto è stato quello di fornire un approccio di carattere metodologico a supporto della scelta di investimento, senza pretesa di arrivare a valutazioni che richiederebbero ben altre risorse: l'auspicio è che tale studio possa fungere da primo elemento di supporto al management delle PMI agricole, in particolare con riguardo alle nuove generazioni, sia relativamente alle nuove

tecnologie da integrare nelle aziende esistenti, sia riguardo allo sviluppo di metodi integrati e interdisciplinari dediti non solo agli aspetti economici, ma anche a quelli energetici ed ambientali.

1. 7° Censimento Generale dell'Agricoltura, ISTAT, 2022,
2. PNRR - Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza;
3. MiPAAF, Informativa alla Camera del Ministro Patuanelli sullo stato di crisi causato dalla siccità, luglio 2022;
4. Annuario dell'Agricoltura Italiana 2020, Volume LXXIV, CREA, 2022,;
5. AGRIcoltura100 Rapporto 2022, Reale Mutua - Confagricoltura, II edizione, 2022, https://www.confagricoltura.it/media/4673/AGRIcoltura100-RAPPORTO-2022-Reale-Mutua-Confagricoltura_DEF.pdf;
6. Farm to Fork Strategy For a fair, healthy and environmentally-friendly food system, European Commission, 2020;
7. Pignatelli V., Fonti rinnovabili e agroenergie, opportunità e prospettive, Energia Ambiente e Innovazione, 2019, DOI 10.12910/EAI2020-019;
8. Rapporto Statistico Solare Fotovoltaico 2021, ISTAT, 2022,;
9. Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici, MiTE, 2022,;
10. Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile;
11. TESTO INTEGRATO DELLE DISPOSIZIONI DELL'AUTORITÀ PER L'ENERGIA ELETTRICA E IL GAS PER L'EROGAZIONE DEI SERVIZI DI TRASMISSIONE, DISTRIBUZIONE E MISURA DELL'ENERGIA ELETTRICA Periodo di regolazione 2008-2011
12. Comunità energetiche rinnovabili - Vademecum 2021 - ENEA
<https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-volumi/2021/opuscolo-comunita-energetica.pdf>
13. [https://www.remtec.energy/;](https://www.remtec.energy/)
14. Agostini A., Colauzzi M., Amaducci S., Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment, Applied Energy, Volume 281, gennaio 2021;
15. Projected Costs of Generating Electricity 2020, IEA, 2020;
16. Reinert, Kenneth A., and David W. Roland-Holst. "Social accounting matrices." Applied methods for trade policy analysis: A handbook 94 (1997).
17. Rao M., U. Ciorba, G. Trovato, C. Notaro, C. Ferrarese "Costruzione di una Matrice di Contabilità Sociale Allargata al Settore Energetico" RT/2014/12/ENEA
<http://openarchive.enea.it/bitstream/handle/10840/4940/RT-2014-12-ENEA.pd>

18. Rao, M., Ciorba, U., Trovato, G., Notaro, C., Ferrarese, C. (2018). Estimating an Energy-Social Accounting Matrix for Italy. In: Perali, F., Scandizzo, P. (eds) *The New Generation of Computable General Equilibrium Models*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58533-8_4
19. Harvey, LD Danny. "Clarifications of and improvements to the equations used to calculate the levelized cost of electricity (LCOE), and comments on the weighted average cost of capital (WACC)." *Energy* 207 (2020): 118340.
20. Tran, Thomas TD, and Amanda D. Smith. "Incorporating performance-based global sensitivity and uncertainty analysis into LCOE calculations for emerging renewable energy technologies." *Applied energy* 216 (2018): 157-171.
21. Zhou, Zhi-Hua. *Machine learning*. Springer Nature, 2021
22. Pisner, Derek A., and David M. Schnyer. "Support vector machine." *Machine learning*. Academic Press, 2020. 101-121
23. <https://www.mercatoelettrico.org/It/Tools/Accessodati.aspx?ReturnUrl=%2ffit%2fStatistiche%2fME%2fDatiSintesi.aspx>
24. Rapporto RICA 2021, CREA, 2021, <https://rica.crea.gov.it>;
25. http://water.nv.gov/hearings/past/Spring%20-%20Cave%20-%20Dry%20Lake%20and%20Delamar%20Valleys%202011/Exhibits/SNWA%20Exhibits/SNW A_Exh_114_Black%20and%20Veatch,%202010%20RETI.pdf

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
marzo 2023