

IMPIANTO AGRIVOLTAICO
SITO NEI COMUNI DI BRINDISI E CELLINO SAN MARCO
IN PROVINCIA DI BRINDISI

Valutazione di Impatto Ambientale

(artt. 23-24-25 del D.Lgs. 152/2006)

Commissione Tecnica PNRR-PNIEC

(art. 17 del D.L. 77/2021, convertito in L. 108/2021)

Prot. CIAE: DPE-0007123-P-10/08/2020

Idea progettuale, modello insediativo e coordinamento generale: **AG Advisory S.r.l.**

Paesaggio e supervisione generale: **CRETA S.r.l.**

Elaborazioni grafiche: **Eclettico Design**

Assistenza legale: **Studio Legale Sticchi Damiani**

Progettisti:

Responsabili VIA: **CRETA S.r.l.**

Arch. Sandra Vecchietti

Arch. Filippo Boschi

Arch. Anna Trazzi

Arch. Giulia Bortolotto

Arch. Mattia Zannoni

Contributi specialistici:

Acustica: **Dott. Gabriele Totaro**

Agronomia: **Dott. Agr. Barnaba Marinosci**

Agronomia: **Dott. Agr. Giuseppe Palladino**

Archeologia: **Dott.ssa Caterina Polito**

Archeologia: **Dott.ssa Michela Rugge**

Asseverazione PEF: **Omnia Fiduciaria S.r.l.**

Fauna: **Dott. Giacomo Marzano**

Geologia: **Geol. Pietro Pepe**

Idraulica: **Ing. Luigi Fanelli**

Piano Economico Finanziario: **Dott. Marco Marincola**

Vegetazione e microclima: **Dott. Leonardo Beccarisi**

Cartella	VIA_3/	Identificatore:	Accordo Quadro Università degli Studi di Foggia
Sottocartella	PROG_COMP/	PROGCOMP601	
Descrizione	Accordo Quadro di Collaborazione con l'Università degli Studi di Foggia, Dipartimento di Scienze Agrarie, degli Alimenti e dell'Ambiente		
Nome del file:		Tipologia	Scala
PROGCOMP601.pdf		Relazione	-

Autori elaborato: Prof. Massimo Monteleone

Rev.	Data	Descrizione
00	01/02/22	Prima emissione
01		
02		

Spazio riservato agli Enti:



Università di Foggia



APPLICAZIONE SPERIMENTALE DELLA COLTIVAZIONE BIOLOGICA DELL'ASPARAGO AL SISTEMA "AGROVOLTAICO"

**UNA PROPOSTA TECNOLOGICA INTEGRATA
ALLA FRONTIERA DELL'INNOVAZIONE**

**Dipartimento di Scienze Agrarie, degli Alimenti e dell'Ambiente
Università di Foggia**

Luglio 2020

Descrizione dell’Unità di Ricerca “Star*AgroEnergy”

*L’Unità di ricerca STAR*AgroEnergy riunisce professori, ricercatori, tecnici, assegnisti e dottorandi che collaborano strettamente in attività di sperimentazione e trasferimento tecnologico. STAR*AgroEnergy si è posta l’obiettivo di realizzare un significativo avanzamento nelle capacità di ricerca ed innovazione tecnologica dell’Università di Foggia nel campo della bioeconomia e delle bioenergie, specificamente in relazione al contesto agrario, ma non solo. STAR*AgroEnergy promuove un approccio integrato alla generazione di energia da fonti rinnovabili, ottenute da materie prime agricole ed agro-industriali. Ulteriore carattere distintivo è la rilevanza assegnata a rigorosi criteri di sostenibilità a cui si conforma ogni intervento di progettazione. Il riferimento è alla knowledge-based bio-economy (KBBE). STAR delinea un approccio metodologico che armonizza le più avanzate tecnologie nel settore bioeconomy con le esigenze di uno sviluppo equilibrato ed armonico con l’ambiente, il paesaggio ed il patrimonio culturale, per la promozione di un modello energetico a carattere “distribuito”. Uno degli elementi di forza dell’attività consiste nel raccordare le esigenze espresse dalla comunità scientifica, dagli imprenditori, dagli amministratori locali e decisori politici, per generare opportunità d’innovazione. Valorizzando queste interazioni si dispiegano pienamente le potenzialità di ricerca e sviluppo tecnologico in grado di favorire l’evolversi dell’economia regionale, nazionale ed europea, interpretando al meglio le sfide epocali espresse dalla società.*

Descrizione dello “Star Facility Centre”

*Lo STAR*Facility Centre è un polo tecnico-scientifico dell’Università di Foggia basato su una concezione innovativa che coniuga la presenza di attrezzature di laboratorio all’avanguardia, con impianti pilota fra loro integrati e uno staff di ricerca di tipo multidisciplinare, operante in collaborazione con altri centri di ricerca internazionali. Il Centro è in grado di estendere i suoi servizi dalle attività di ricerca accademica a quelle dell’innovazione tecnologica e dello sviluppo industriale, al fine di cogliere le opportunità derivanti dallo sviluppo della “bioeconomy”. L’ampia gamma di servizi offerti parte dalla caratterizzazione delle biomasse e dei biomateriali, per individuarne i processi in grado di ottenere prodotti ad un più elevato valore economico. L’approccio industriale, si basa sull’idea della “bioraffineria”, intesa come una struttura produttiva in grado d’integrare una serie di processi di conversione di biomasse di diversa origine, per l’ottenimento di prodotti d’interesse industriale, biocarburanti ed energia. La piattaforma tecnologica del Centro consente la realizzazione di modelli pilota in grado di calibrare e valutare sistemi tecnologici assimilabili alle bioraffinerie.*

STAR*AgroEnergy Research Unit

Università di Foggia
www.star-agroenergy.eu
prof. Massimo Monteleone
via Napoli, 25 – 71121 Foggia
tel. +39.0881.589223
massimo.monteleone@unifg.it

Università di Foggia

**Dipartimento di Scienze Agrarie,
degli Alimenti e dell’Ambiente**
Via Napoli 25 – 71121 Foggia
Direttore: prof.sa Milena Sinigaglia
Segreteria amministrativa
tel. +39.0881.589216

STAR*Facility Centre

Zona Industriale di Foggia
S.S.16 (Foggia-Bari) km 684,3
<http://starfacilitycentre.unifg.it>
dott. Matteo Francavilla
tel. +39.0881.680195
matteo.francavilla@unifg.it

Componenti del gruppo di lavoro

**Agronomia
ed ecologia agraria**

Prof. Massimo Monteleone

Orticoltura

Prof. Antonio Elia

Prof.sa Giulia Conversa

**Chimica organica
e processi di bioraffineria**

Prof. Matteo Francavilla

Collaborazioni

**Automazione degli interventi colturali
e dei processi di raccolta**

**Ing. Michele De Stasio
TEKNA Automazione e Controllo srl**

Bioplastica in orticoltura

**Dott.sa Giulia Gregori
NOVAMONT
collaborazione ancora da confermare**

**Bioeconomia per una
orticoltura sostenibile**

**Dott.sa Sofia Mannelli
Associazione Chimica Verde Bionet
collaborazione ancora da confermare**

Sommario

La coltivazione dell’asparago e l’agrovoltaico	5
Motivazioni della ricerca	6
Informazioni generali sulla coltura dell’asparago	6
<i>Caratteri agronomici</i>	6
<i>Fisiologia e ciclo colturale</i>	7
<i>Composizione chimica e proprietà</i>	7
<i>Superfici e produzioni</i>	8
<i>Mercato nazionale ed internazionale</i>	8
<i>Import ed export nazionale</i>	9
<i>Consumi interni</i>	9
<i>Strategie di offerta del prodotto</i>	9
Un ampio spettro di obiettivi tecnici	10
Articolazione della ricerca	11
Effetti micrometeorologici rilevati sulla coltivazione di asparago conseguenti all’applicazione del sistema “agrovoltaico”	12
Miglioramenti della tecnica colturale dell’asparago in assetto “agrovoltaico” ai fini di un incremento della sostenibilità ambientale ed economica del processo produttivo	13
<i>Destagionalizzazione della produzione</i>	13
<i>Gestione della fertilità del suolo ed efficienza d’uso dei nutrienti</i>	13
<i>Bio-fortificazione agronomica in selenio</i>	15
Automatizzazione della raccolta	16
Impiego delle bioplastiche per realizzare piccoli tunnel di copertura della coltivazione	17
Valorizzazione degli scarti mediante una piattaforma di bioraffineria	18
<i>Stima dei residui disponibili</i>	18
<i>Processi di bioraffineria e di chimica verde</i>	18
<i>Descrizione dell’attività di ricerca</i>	19
Allestimento della prova sperimentale	20
Rilevazioni sperimentali	20
Riferimenti bibliografici	21

La coltivazione dell'asparago e l'agrovoltaico

L'analisi dei sistemi colturali, nonché le valutazioni produttive ed economiche inerenti a tali sistemi, ha condotto all'individuazione della coltura dell'asparago come quella in grado di esprimere al meglio le potenzialità offerte dal modello integrato di produzione definito come "sistema agrovoltaico". Ovviamente essa non è l'unica e numerose possono essere le possibilità applicative dell'agrovoltaico anche ad altre specie agrarie e, in particolare, orticole.

L'ipotesi che si intende verificare nell'attività di studio, analisi e sperimentazione qui proposta è se l'asparago, in termini colturali e tecnologici, può essere assunto come la coltura orticola di riferimento del modello agrovoltaico per gli ambienti mediterranei.

Oltre alla rilevanza, produttiva ed economica, che contraddistingue la coltura orticola, altro aspetto importante nell'individuazione dell'asparago come coltura di riferimento per le applicazioni agrovoltaiche è l'ottima combinazione fra esigenze colturali e condizioni ambientali che il modello riesce ad esprimere allorché esso veda l'asparago come sua coltura d'elezione. Questa scelta, infatti, dovrebbe offrire le più alte garanzie di conseguire appieno quelle potenzialità sinergiche che sono attribuite al sistema "agrovoltaico" e che lo rendono idoneo a manifestare una vera e propria "simbiosi" produttiva, in grado di avvantaggiare sia la produzione agricola che quella elettrica.

Come si può facilmente immaginare, l'aspetto ambientale che maggiormente condiziona la produzione delle colture in assetto "agrovoltaico" riguarda l'ombreggiamento che i moduli solari (o pannelli fotovoltaici) provocano sulla superficie del suolo e, di conseguenza, la scarsa illuminazione che perviene al livello del manto vegetale delle colture agrarie. A questo riguardo, è dato osservare un'ampia variabilità di esigenze d'illuminazione da parte delle diverse specie agrarie, frutto di un "adattamento" progressivo che ha determinato i caratteri propri di ciascuna specie. D'altro canto, si osserva anche un carattere "plastico" delle piante; esso attiene alla loro capacità, in tempi e modi differenti per le diverse specie, di andare incontro ad un processo di "ambientamento", ovvero ad un aggiustamento morfo-funzionale che rende le foglie più idonee a fronteggiare condizioni d'ombreggiamento più o meno persistente.

Come norma generale, è possibile affermare che la crescita vegetale non può che essere proporzionale alla quantità di radiazione intercettata dal manto vegetale (con particolare riferimento alla frazione luminosa dello spettro solare) e questo, pertanto, vale anche per la produzione commerciale. Non sono però poche le specie, e l'asparago è una fra queste, che si avvantaggiano di condizioni di ombreggiamento parziale, ovvero di un'intensità radiativa mediamente più blanda. Questo comportamento si giustifica considerando la fisiologia vegetale e, in particolare, la risposta del tasso fotosintetico all'aumentare del flusso radiante che si osserva a scala fogliare. Quando l'intensità radiativa supera certi valori soglia, la risposta fotosintetica non è più lineare; comincia, invece, a declinare e tende a saturare, manifestando un *plateau*. In queste circostanze il *surplus* radiativo non è più utile e può perfino divenire dannoso in quanto questa energia d'eccitazione deve essere dissipata e, nel farlo, può direttamente danneggiare i fotosistemi portati sui tilacoidi. Ovviamente un elevato flusso energetico, specie se non impiegato nella carbosilazione fotosintetica così come nella traspirazione dell'acqua, determina un progressivo incremento termico che, superate specifiche soglie di guardia, contribuisce anch'esso a condizionare negativamente il metabolismo cellulare e la complessiva fisiologia della pianta.

Motivazioni della ricerca

Da più fonti si evidenzia che l’asparago sia una orticola in grado di tollerare in modo adeguato le condizioni di ombreggiamento parziale e che le produzioni in turioni, sebbene più ragguardevoli se ottenute in pieno sole, fornirebbero risultati adeguati e non così penalizzanti anche se la coltura fosse sottoposta ad un regime radiativo meno intenso. Come è facile osservare, si tratta in primo luogo di supposizioni, probabilmente confermate da una buona dose di empirismo; in secondo luogo, non si dispone di verifiche sperimentali e di informazioni quantitative certe, riferibili a effettive condizioni colturali. La risposta produttiva, infatti, può essere ampiamente influenzata dalla latitudine del luogo di coltivazione (che determina il regime radiativo), dalle condizioni termiche che si registrano nel corso del ciclo, dalla possibilità o meno di fornire apporti irrigui e, non l’ultimo fattore in gioco, dalle caratteristiche delle *cultivar* nel quadro della variabilità genetica della specie.

Da qui l’esigenza di procedere ad una sperimentazione diretta e ad una verifica delle particolari condizioni che si vengono a determinare allorché l’asparago sia coltivato in regime “agrovoltaico” secondo le operazioni eseguite in pieno campo.

A riguardo di ciò, l’intenzione è anche quella di procedere ad un’opportuna calibrazione degli interventi colturali ed alla definizione di un “optimum” di gestione che faccia appello alle migliori tecnologie oggi tendenzialmente disponibili ma ancora di frontiera, capaci di sostenere efficacemente la crescita della coltura e, al contempo, di garantire la sostenibilità delle risorse agro-ecologiche e la compatibilità degli standard ambientali.

Con riguardo alla coltivazione dell’asparago, quindi, si intende valutare quel complesso di fattori e condizioni che possono consentire di consigliare la coltivazione di questa orticola nella particolare configurazione agrovoltaica.

Avendo ipotizzato l’asparago come potenziale coltura di riferimento, il convincimento è che il sistema così ottimizzato possa offrire appieno tutti i suoi potenziali vantaggi. Ma ciò è per l’appunto quanto occorre dimostrare sperimentalmente, adottando un approccio rigoroso ed obiettivo.

Informazioni generali sulla coltura dell’asparago

Caratteri agronomici

L’asparago (*Asparagus officinalis* L.) è una specie erbacea poliennale, appartenente alla famiglia delle Liliaceae. È una pianta dioica, per cui è dato individuare piante maschili e piante femminili. Può essere classificato in diverse tipologie in funzione delle differenze nella colorazione: asparago verde, bianco, violetto-verde, violetto-blu ed asparago rosa.

Ha un ciclo produttivo generalmente compreso fra 8-10 anni. L’apparato radicale è formato da radici carnose cilindriche e rizomi. I rizomi sono radici a sviluppo orizzontale che accumulano sostanze nutritive per generare nuovi fusti. L’apparato radicale, essendo costituito da una vigorosa struttura rizomatosa, esplora il terreno fino a superare il metro di profondità, per cui la pianta si avvantaggia di terreni profondi, ben areati, sciolti, dotati di ottimo drenaggio e di tessitura media o tendenzialmente leggera (franco-sabbiosa). Se i terreni sono fertili e privi di erbe infestanti perenni e a reazione tendenzialmente sub-acida (7-7,5) le condizioni risultano ancor più favorevoli. Sono

APPLICAZIONE SPERIMENTALE DELLA COLTIVAZIONE DELL’ASPARAGO AL SISTEMA “AGROVOLTAICO”

IL SISTEMA “AGROVOLTAICO”: UNA VIRTUOSA INTEGRAZIONE MULTIFUNZIONALE IN AGRICOLTURA

invece da evitare terreni pesanti e soggetti a ristagno idrico. Tollera molto bene il freddo e resiste alla siccità, sebbene l'apporto irriguo sia da considerarsi indispensabile per puntare a produzioni adeguate.

La fioritura avviene durante i primi mesi estivi, i fiori sono verdi-bianchi e quelli delle piante maschili sono di dimensioni maggiori rispetto a quelli femminili. Vengono impollinati dagli insetti e fruttificano piccole bacche di colore rosso intenso.

La “zampa” dell'asparago è l'insieme di radici e rizomi. Il trapianto delle zampe è la scelta più frequente per iniziare la coltivazione di un'asparagiaia. La parte commestibile della pianta è chiamata tecnicamente “turione” e non è altro che un ricaccio primaverile che, se non venisse raccolto, diventerebbe un fusto vero e proprio. Il turione è verde, di forma cilindrica con estremità apicale leggermente appuntita sfumata di rosso-violetto.

L'impianto della coltura prevede la lavorazione meccanica del terreno e la concimazione di fondo, la predisposizione di solchi nel terreno e la disposizione del sistema irriguo, tutto ciò preliminarmente al trapianto. Gli interventi successivi si limitano alla concimazione (anche in fertirrigazione), alla gestione delle infestanti (in genere con pirodiserbo), al controllo dei patogeni e dei parassiti ed allo sfalcio invernale della parte aerea senescente. La raccolta è effettuata con macchine agevolatrici per una durata di circa 3 mesi (da metà marzo a metà giugno).

In Italia, la difesa fitosanitaria dell'asparago si avvale, con sempre maggior frequenza, delle linee guida della produzione integrata e delle tecniche di difesa biologiche. Le principali avversità che colpiscono l'asparago sono: la ruggine, la fusariosi, la muffa grigia (o anche nota come botrite) e i nematodi.

Fisiologia e ciclo colturale

La coltura dell'asparago alterna una *fase vegetativa* tra la primavera e l'autunno, ad una *fase di riposo* invernale. Durante la fase vegetativa, l'attività fotosintetica consente la produzione dei composti organici che vengono in parte accumulati nei rizomi sotterranei sotto forma di riserve ed in parte utilizzati per differenziare nuove radici e gemme sugli stessi rizomi. Dopo il periodo di riposo invernale il risveglio vegetativo è indotto essenzialmente da una temperatura minima nel terreno di 12°C per almeno 7 giorni e da un giusto livello di umidità. I turioni si sviluppano dalle gemme utilizzando esclusivamente le sostanze di riserva accumulate nella precedente fase vegetativa; pertanto la concentrazione di queste sostanze nelle radici, diminuisce progressivamente durante il periodo di raccolta. Gli steli che si differenziano dopo il termine del periodo di raccolta, continuano ad utilizzare le sostanze di riserva per almeno 2-3 settimane, cioè fino al termine della fioritura. E' necessario terminare la raccolta dei turioni quando nelle radici sono ancora presenti sostanze di riserva sufficienti a formare numerosi e vigorosi steli che consentiranno lo sviluppo della vegetazione per il successivo periodo estivo. Nelle condizioni climatiche mediterranee le sostanze di riserva occorrenti per una produzione di turioni nell'anno seguente, sono accumulate dopo 4 - 5 mesi di attività vegetativa, purché l'asparagiaia sia ben condotta e priva di infestanti e non manifesti attacchi parassitari.

Composizione chimica e proprietà

L'asparago è apprezzato dal consumatore per le caratteristiche organolettiche e nutrizionali essendo una buona fonte di fitochimici bioattivi con proprietà antiossidanti, antinfiammatorie e

APPLICAZIONE SPERIMENTALE DELLA COLTIVAZIONE DELL'ASPARAGO AL SISTEMA “AGROVOLTAICO”

IL SISTEMA “AGROVOLTAICO”: UNA VIRTUOSA INTEGRAZIONE MULTIFUNZIONALE IN AGRICOLTURA

antitumorali quali polisaccaridi, saponine, fitosteroli, glutazione, carotenoidi, polifenoli e fibra alimentare. Considerando che molti di questi composti sono maggiormente presenti nella parte più fibrosa dei turioni (Fuentes-Alventosa et al., 2013) è di indubbio interesse dare valore aggiunto ai sottoprodotti della lavorazione dei turioni mediante l'estrazione di uno o più di questi composti bioattivi (Fuentes-Alventosa et al., 2013).

Dal punto di vista chimico, l'asparago è ricco di nutrienti essenziali e composti fitochimici bioattivi quali proteine, oli/lipidi, vitamine, minerali, saponine steroidee, flavonoidi, fibre alimentari solubili ed insolubili, oligosaccaridi (Fuentes-Alventosa, Jaramillo-Carmona, Rodríguez-Gutiérrez, Guillén-Bejarano, & Jiménez-Araujo, 2013). Per tutti questi costituenti chimici sono stati studiate e riportate nella letteratura scientifica diverse proprietà bioattive che includono l'azione antiossidante (Fadda, Barberis, & Sanna, 2017), antiepilettica (Jäger, Mohoto, Heerden, & Viljoen, 2005), antitumorale (Jäger et al., 2005), ipolipidemica (Kahlon, Chapman & Smith, 2007), decompressiva (Miura et al., 2016) ed antifungina (Rosado-Álvarez, Molinero-Ruiz, Rodríguez-Arcos, & Basallote-Ureba, 2014).

Superfici e produzioni

L'Italia è il terzo paese produttore di asparago in Europa, in base ai dati FAO del 2017, con una superficie di circa 6.687 ettari ed una produzione di 46.419 tonnellate. Dati positivi che mostrano un comparto in crescita: +6% rispetto al 2010 per superfici coltivate e +7% per quantità raccolte. Più dell'80% della superficie si riferisce a coltivazioni a pieno campo, il restante 20% a coltivazioni in serra.

Ai primi due posti in Europa, la Germania, con 23.190 ettari e 130.881 tonnellate, e poi la Spagna, con 13.755 ettari e 63.433 tonnellate.

Al mondo, complessivamente, sono stati impiantati 1.559.426 ettari di asparago nel 2017 che hanno prodotto 8.950.306 tonnellate: +9% l'incremento degli ettari coltivati rispetto al 2010 e +14% per quanto concerne le quantità prodotte. La Cina è il maggiore produttore mondiale con 1.411.578 ettari e 7.843.162 tonnellate. Seguono poi Perù con 32.365 ettari e 383.098 tonnellate ed il Messico con 26.139 tonnellate e 245.681 tonnellate (Faostat, 2017).

Uno sguardo alla situazione interna consente di riferire che, in Italia, la principale regione produttrice è la Puglia che copre il 50% delle superfici complessive. Il suo prodotto è solo quello riferibile alla varietà “verde”. Seguono poi il Veneto che rappresenta il 17% delle superfici (80% bianco e 20% verde), la Campania il 7%, Il Lazio il 6% e l'Emilia Romagna il 5% (Fonte dati CSO, triennio 2017-2019).

In Italia, l'**asparago biologico** è in ascesa e, nel 2017, contava quasi 1.700 ettari coltivati complessivamente in Italia, con la Puglia, anche in questo caso, in posizione dominante.

Mercato nazionale ed internazionale

Il **trend positivo della coltivazione dell'asparago** è indotto dai consumi di questa Liliacea. Gli acquisti al dettaglio di asparago infatti sono incrementati nel 2016 (+13% rispetto al 2015) e nel 2017 (+2% rispetto al 2016). L'asparago ha quindi superato la crisi dei consumi fornendo risultati migliori rispetto ad altri prodotti orticoli. Oggi la coltivazione dell'asparago è, per i produttori agricoli, una valida e redditizia alternativa alle colture orticole più tradizionali, grazie anche a seguenti aspetti peculiari: un'**elevata PLV (produzione lorda vendibile) ad ettaro** grazie alle buone prestazioni produttive ed ai prezzi di vendita abbastanza remunerativi, a cui si aggiungono il vigoroso trend in

APPLICAZIONE SPERIMENTALE DELLA COLTIVAZIONE DELL'ASPARAGO AL SISTEMA “AGROVOLTAICO”

IL SISTEMA “AGROVOLTAICO”: UNA VIRTUOSA INTEGRAZIONE MULTIFUNZIONALE IN AGRICOLTURA

crescita dei consumi (soprattutto per il prodotto verde di cui l'Italia è leader) ed in ultimo il forte legame che è stato creato fra il prodotto ed il suo territorio di origine, condizione quest'ultima che con il territorio che ne accresce il valore aggiunto.

In Germania ed in Spagna rispettivamente il 95% e l'80% della produzione è rappresentata dall'asparago bianco, ed anche negli altri Paesi produttori come Francia, Olanda, Polonia e Grecia (in ordine decrescente d'importanza) la produzione è nettamente sbilanciata verso l'asparago bianco. Di contro, in Italia, la produzione è all'80% costituita da asparago verde, massimamente nel Mezzogiorno.

Import ed export nazionale

L'**export** di asparago italiano nel biennio 2017-2018 ha totalizzato un quantitativo di poco inferiore alle 8 mila tonnellate, a cui è corrisposto un valore di oltre 27 milioni di euro. Le esportazioni del prodotto nazionale si concentrano verso destinazioni vicine: in Germania per quasi il 40%, Austria per oltre il 20% e la Svizzera con poco più del 10%. Movimentazioni minori riguardano altri Paesi comunitari.

L'**import** riguarda mediamente poco più di 4 mila tonnellate annue, pari ad un valore di circa 15 milioni di euro. Recentemente il prodotto in entrata dalla Spagna ha rappresentato il 40% dell'import complessivo, seguono i Paesi Bassi col 18%, la Francia all'11%, mentre nei primi mesi dell'anno, arriva sui mercati italiani asparago peruviano per un volume pari al 14% del complesso.

Consumi interni

Gli asparagi evidenziano un buon ritmo di crescita sul mercato interno. Nel corso del 2018 gli acquisti hanno superato le 24 mila tonnellate annue. Sale progressivamente la percentuale di famiglie che almeno una volta nel corso dell'anno acquista gli asparagi, pari al 45% nel 2018.

Strategie di offerta del prodotto

Nonostante la coltura dell'asparago verde sia in crescita e risulti abbastanza remunerativa, soffre della competizione da parte di altri produttori europei, in particolare la Spagna che riesce ad ottenere produzioni più precoci rispetto a quelle nostrane. Pertanto, è avvertita la necessità di avviare una strategia che possa accentuare i caratteri di destagionalizzazione della produzione dei turioni.

A ciò si aggiunga anche l'esigenza di migliorare in modo rilevante sia la sostenibilità ecologica che la compatibilità ambientale dei processi di coltivazione, non solo adottando criteri di agricoltura integrata, ma puntando alla gestione in regime biologico della coltura.

Particolare rilevanza, in ultimo, assume anche l'obiettivo di incrementare i caratteri qualitativi del prodotto, la salubrità dei turioni e le proprietà nutraceutiche che esso può vantare, ciò per venire incontro alle esigenze sempre più precise e ricercate espresse dal consumatore.

Il complesso di questi fattori, affrontati unitariamente attraverso la definizione di un “pacchetto” tecnologico integrato, consentirebbe di rendere la coltivazione dell'asparago molto più competitiva e, in ambito europeo, di riuscire efficacemente a contrastare

Un ampio spettro di obiettivi tecnici

Si individuano di seguito, schematicamente, gli obiettivi tecnici proposti nei riguardi dell’asparago, al fine di definire un quadro d’insieme degli ambiti d’innovazione tecnologica che saranno oggetto d’indagine e valutazione.

- **Verifica del regime radiativo vigente in assetto agrovoltico e sua influenza sull’accrescimento e la produzione dell’asparago.** Occorre valutare le condizioni d’illuminazione che si determinano in conseguenza dell’installazione dei moduli solari al di sopra delle piante di asparago e le conseguenti modificazioni di ordine micro-meteorologico. Tali condizioni possono essere al contempo limitanti l’attività vegetativa, ma anche favorevoli ad essa, per esempio nel ridurre gli eventuali eccessi termici e limitare i consumi idrici colturali per evapotraspirazione. Anche la qualità del prodotto deve essere attentamente valutata nei suoi differenti caratteri.
- **Destagionalizzazione della produzione di asparago.** Sarebbe favorevole accentuare l’anticipo della raccolta, possibilmente già nel mese di gennaio (rispetto al periodo ordinario di raccolta nei mesi primaverili). Occorre inoltre verificare la possibilità d’inserimento di una raccolta aggiuntiva di nei mesi autunnali, comunque garantendo una fase vegetativa della coltura sufficientemente lunga (circa 5 mesi, da aprile ad agosto) necessaria alla sintesi ed accumulo di riserve nel rizoma.
- **Valutazione della possibilità d’impiego di “tunnel” protettivi in materiale bioplastico.** Al fine di ridurre drasticamente l’impiego della plastica in agricoltura, gli apprestamenti protettivi realizzati sulla coltura dell’asparago dovrebbero essere realizzati con materiale polimerico di origine biologica, completamente biodegradabile e compostabile. Questi apprestamenti possono riguardare la pacciamatura ma, il più delle volte, consistono in piccoli tunnel che hanno l’effetto d’innalzare il regime termico dell’aria a ridosso del terreno quindi favorendo l’anticipo della raccolta.
- **Gestione innovativa della fertilità del suolo.** Si conferma che l’indirizzo agronomico è quello di adottare il regime di coltivazione secondo il **metodo biologico**, anche detto “*organic farming*” (secondo il Reg. CE 834/2007). Alla luce di questa scelta, si propone l’impiego di sostanze e/o microrganismi noti come **biostimolanti** naturali delle piante, ovvero di prodotti in grado di aumentare l’efficienza d’uso degli elementi nutritivi, ridurre l’incidenza delle avversità abiotiche e migliorare la qualità delle produzioni, ottimizzando i processi metabolici delle piante. I cosiddetti biostimolanti includono sostanze naturali bioattive (sostanze umiche, idrolizzati proteici, estratti di alghe) così come microrganismi benefici del suolo tra cui i **funghi micorrizici arbuscolari** (FMA) e i batteri azoto fissatori.
- **Elettificazione di tutte le operazioni meccaniche e strumentali impiegate negli interventi di coltivazione.** L’ampia disponibilità di energia elettrica derivata dell’impianto fotovoltaico consente un’integrale transizione del parco macchine aziendali dall’impiego di fonti fossili all’utilizzo di energia rinnovabile. Macchine motrici ed operatrici saranno quindi convertite all’elettrico, realizzando così una significativa contrazione dell’impronta carbonica della coltivazione dell’asparago.
- **Verifica della possibilità di automatizzare le operazioni colturali e, in particolare, la raccolta.** Applicando i principi dell’agricoltura di precisione alle tecnologie informatiche, al “*remote sensing*” ed ai sistemi di gestione automatizzata è possibile prefigurare un ampio spettro di servizi

di supporto che avvantaggiano l’agricoltore nel prendere decisioni gestionali. Alcuni applicativi, inoltre, sono in grado di “comandare” in automatico lo svolgimento di una pluralità d’interventi colturali.

- **Riconoscimento e certificazione ecologica di prodotto.** Oltre al marchio di riconoscimento di prodotto biologico (Reg. CE 834/2007) è opportuno procedere ad un accurato conteggio del risparmio energetico ed emissivo associato al nuovo regime di coltivazione dell’asparago, ciò anche al fine di attivare procedure di riconoscimento dei crediti di carbonio così acquisiti ed una certificazione del ridotto impatto ambientale del prodotto (per esempio mediante l’adozione del marchio europeo “**ecolabel**” (secondo il Reg. CE n. 66/2010).
- **Valorizzazione degli scarti di lavorazione secondo un approccio di “bioraffineria”.** Gli scarti della lavorazione dell’asparago sono rappresentati dalla parte basale dei turioni, quella che si ottiene a seguito del taglio a circa 13-15 cm dall’apice. Essi hanno una colorazione biancastra ed consistenza fibrosa, possono rappresentare fino al 20% della produzione totale. Questo scarto viene ordinariamente conferito, a titolo gratuito, alle aziende zootecniche per l’alimentazione del bestiame allevato. L’asparago rappresenta una buona fonte di fitochimici bioattivi con proprietà antiossidanti, antinfiammatorie e antitumorali quali polisaccaridi, saponine, fitosteroli, glutazione, carotenoidi, polifenoli e fibra alimentare. Considerando che molti di questi composti sono maggiormente presenti nella parte più fibrosa dei turioni è di indubbio interesse dare valore aggiunto ai sottoprodotti della lavorazione dei turioni mediante l’estrazione di uno o più di questi composti bioattivi.

Articolazione della ricerca

Si prevede di sviluppare un programma di ricerca triennale, a partire dalla fase d’impianto della coltura, fino alla sua entrata in produzione (al secondo-terzo anno dall’impianto).

Tale programma è articolato nelle seguenti macro-tematiche:

- Effetti micrometeorologici rilevati sulla coltivazione di asparago conseguenti all’applicazione del sistema “agrovoltaico” e verifica delle condizioni di accrescimento e produttività qualitative.
- Miglioramenti della tecnica colturale dell’asparago in assetto “agrovoltaico” ai fini di un incremento della sostenibilità ambientale ed economica del processo produttivo.
- Applicazioni di possibili innovazioni ingegneristiche (valutazioni preliminari e di fattibilità in merito all’automazione della raccolta ed all’impiego di teli in bioplastica come tunnel di copertura).
- Valorizzazione tecnologica dei residui e degli scarti mediante una piattaforma di bioraffineria.

Saranno pertanto allestite delle “linee guida” che riepilogano i risultati sperimentali acquisiti e definiscono un quadro interpretativo il più possibile esaustivo, in grado d’indirizzare l’agricoltore nelle sue scelte gestionali relative alla coltivazione dell’asparago in “consociazione” con i moduli solari (ma non solo).

Effetti micrometeorologici rilevati sulla coltivazione di asparago conseguenti all’applicazione del sistema “agrovoltaico”

L’interposizione offerta dai pannelli solari nei riguardi della radiazione solare contrassegna l’assetto “agrovoltaico”. Come già riferito, ciò determina ombreggiamento ed altera, in modo più o meno rilevante, lo stato dell’atmosfera a scala di campo (micrometeorologia). Ci si riferisce, in particolare alle seguenti variabili: flusso radiativo alla sommità del manto vegetale, temperatura alla superficie del suolo e all’interno del manto vegetale, contenuto idrico dello strato più superficiale del suolo, umidità dell’aria all’interno del manto vegetale, flusso evaporativo dal suolo, flusso traspirativo colturale.

Queste variabili saranno pertanto oggetto di rilevazione sperimentale e, con riferimento alla ET, di stima indiretta tramite l’applicazione di formule e simulazioni dinamiche, operando un confronto sistematico fra le superfici attrezzate col sistema agrovoltaico rispetto alle superfici che non presentano la suddetta installazione.

Si procederà alla determinazione della dinamica spazio-temporale delle zone ombreggiate rispetto a quelle soleggiate, determinando, di ora in ora e giorno per giorno, l’intensità radiativa che raggiunge la sommità del manto vegetale. A tal fine, la superficie delle parcelle sperimentali viene suddivisa in una pluralità di celle quadrate (1 mq) che sono il risultato della ideale sovrapposizione di una griglia regolare sulla superficie del suolo agrario. Per ogni cella, quindi, verranno ricostruite le condizioni micrometeorologiche dell’atmosfera a ridosso del suolo e quelle relative al suo strato più superficiale, sempre col fine di confrontare i due sistemi di coltivazione (quello ordinario e quello agrovoltaico).

L’impiego di un modelli di simulazione, opportunamente calibrato rispetto ai dati sperimentali acquisiti, consentirà di generalizzare i risultati e di saggiare anche differenti condizioni di arrangiamento spaziale dei moduli solari (variazione della distanza fra i “filari” fotovoltaici; variazione della densità spaziale dei pannelli).

Le modifiche micrometeorologiche attribuibili alla presenza dei pannelli fotovoltaici possono influenzare la fisiologia della pianta (traspirazione, fotosintesi e respirazione, traslocazione dei nutrienti e accumulo di zuccheri nel rizoma e nella parte aerea) con ripercussioni sulla produttività della coltura e sulla qualità commerciale e nutrizionale del prodotto.

L’obiettivo, pertanto, è quello di monitorare, per ogni trattamento sopra indicato, il flusso dei nutrienti e degli zuccheri dalla parte aerea verso il rizoma e viceversa, verificare la capacità di accumulo delle sostanze riserva dei rizomi (fattore importante per garantire la stabilità produttiva negli anni) e correlare queste variabili con il livello produttivo, la precocità di produzione e la qualità commerciale e nutrizionale dei turioni.

Miglioramenti della tecnica colturale dell’asparago in assetto “agrovoltaico” ai fini di un incremento della sostenibilità ambientale ed economica del processo produttivo

Le potenzialità relative al miglioramento della sostenibilità, sia in termini economici sia ambientali, sono connesse ai seguenti obiettivi: destagionalizzazione della coltura, gestione della fertilità del terreno per aumentare l’efficienza d’uso dei nutrienti, miglioramento della qualità nutrizionale dei turioni.

Destagionalizzazione della produzione

La produzione dell’asparago verde in Puglia è fortemente stagionalizzata, si concentra in circa 90 giorni, normalmente da metà marzo a metà giugno, e nella fase iniziale risente fortemente della concorrenza delle produzioni spagnole. A fronte di una stagione di raccolta abbastanza breve, la domanda di asparago da parte dei mercati è estesa a tutti i periodi dell’anno e nel periodo luglio-febbraio è parzialmente soddisfatta dalle importazioni di asparago dal Perù.

Il riscaldamento del terreno come tecnica di forzatura per anticipare l’entrata in produzione dell’asparago coltivato in pien’aria è stato già oggetto di studio, in particolare un gruppo di ricerca greco (*Paroussi et al, 2002; Paurossi et al., 2007*) ha operato in condizioni climatiche tipicamente mediterranee come la Puglia (Salonico, Grecia -42° 32’ Lat N; 23° 01’ Long E, 54 m s.l.m.).

In questa ricerca è stato dimostrato un aumento della produzione precoce (periodo febbraio-marzo) dell’asparago di ben 3 volte con un sistema di riscaldamento del terreno (posizionamento del tubo per la circolazione di acqua calda al disotto del rizoma) rispetto al controllo non riscaldato.

Sulla scorta delle evidenze scientifiche e di alcune esperienze sperimentali (es. presso la Cooperativa Agricola Bibione, VE), l’anticipo della produzione è conseguibile mediante allestimento di a) impianto di riscaldamento basale a mezzo di tubi radianti in cui scorre un flusso d’acqua calda; b) apprestamenti protettivi sulla parte aerea della coltivazione (mediante piccoli tunnel di copertura), al fine di ottimizzare il regime termico sia del suolo che dell’atmosfera a ridosso del suolo.

Abbinata alla tecnica di forzatura per l’anticipo della produzione (gennaio-marzo) è prevedibile adottare anche la tecnica del ‘*mother stalk*’ che consente di introdurre un periodo aggiuntivo di raccolta anche in autunno, garantendo comunque una fase vegetativa della coltura di circa 5 mesi (da aprile ad agosto) necessaria alla sintesi ed accumulo di zuccheri nel rizoma, utile per la produzione dell’anno successivo. Questa tecnica consiste nello sfalcio parziale della parte aerea che consente la raccolta autunnale dei nuovi germogli (turioni).

Gestione della fertilità del suolo ed efficienza d’uso dei nutrienti

Modelli di coltivazione ecosostenibili, alternativi rispetto a quelli tradizionali fondati principalmente su *input* chimici, prevedono applicazioni biotecnologiche in grado di assicurare una gestione efficiente delle risorse naturali, in particolare delle risorse idriche e quelle di fertilità del suolo, assicurando produzioni più salubri e di qualità (*Rouphael et al., 2018*). In questo contesto, particolare interesse assume l’utilizzo di sostanze e/o microrganismi noti come “biostimolanti naturali delle piante”, ovvero prodotti in grado di migliorare l’efficienza d’uso degli elementi

IL SISTEMA “AGROVOLTAICO”: UNA VIRTUOSA INTEGRAZIONE MULTIFUNZIONALE IN AGRICOLTURA

nutritivi, ridurre l'incidenza delle avversità abiotiche e migliorare la qualità delle produzioni, ottimizzando i processi metabolici delle piante (*Van Oosten et al., 2017*).

Secondo la recente definizione della Unione Europea (Regolamento Europeo 1009/2019) i biostimolanti includono sostanze naturali bioattive (sostanze umiche, idrolizzati proteici, estratti di alghe) e microorganismi benefici del suolo tra cui i funghi micorrizici arbuscolari (FMA) ed batteri azoto-fissatori.

I funghi micorrizici arbuscolari (FMA) possono essere considerati efficienti biostimolanti delle piante di interesse agrario e su questi si è concentrato negli ultimi venti anni l'attenzione della ricerca scientifica e delle aziende produttrici di biostimolanti. Essi si caratterizzano per essere biotrofi obbligati e dunque necessitano di una pianta ospite per completare il loro ciclo vitale. Essi stabiliscono simbiosi mutualistiche con le radici di numerose specie vegetali, incluse colture di notevole interesse economico (*Avio et al. 2018*) in cui sia il fungo sia la pianta ne traggono vantaggi. Il fungo assorbe dal suolo e trasferisce alla pianta ospite nutrienti minerali come P, N, S, K, Ca, Cu e Zn attraverso una fitta ed interconnessa rete di ife extraradicali ed in cambio riceve dalle piante ospiti sostanze carboniose (*Avio et al., 2006*).

Numerosi sono gli studi che confermano gli effetti benefici per la pianta derivante dalla simbiosi con funghi AM, in sinergia con altri funghi e batteri promotori di crescita che occupano la micorizosfera. Questi benefici si possono concretizzare nell'aumento della crescita, aumento della produzione e della qualità del prodotto, tolleranza a stress abiotici (es. stress idrico e salino) e biotici (funghi parassiti e nematodi) e sono correlabili ad una o più delle seguenti funzioni della simbiosi: (i) aumento dell'estensione dell'apparato radicale; (ii) aumento della capacità di esplorazione del suolo e della superficie di assorbimento; (iii) aumento dell'assorbimento di acqua e di elementi nutritivi in particolare di azoto, fosforo microelementi ; (iv) aumento della traspirazione, conduttanza stomatica e capacità fotosintetica; (v) regolazione della produzione di sostanze ormonali; (vi) miglioramento dell'attività dei trasportatori di nutrienti; (vii) produzione di enzimi utili alla solubilizzazione dei fosfati (fosfatasi) e di essudati radicali che migliorano l'aggregazione del terreno; (viii) attivazione del sistema di difesa antiossidante (*Bitterlich et al., 2018*).

I benefici attesi dunque dall'impiego di biostimolanti a base di funghi AM (inoculazione) sono sostanzialmente associabili a: i) riduzione della applicazione di fertilizzanti (soprattutto fosfatici), acqua irrigua e fitofarmaci; b) risultati produttivi soddisfacenti anche in condizioni sub-ottimali di nutrizione idrica e minerale (*Berutti et al., 2016*). A questi si possono aggiungere il miglioramento della qualità del prodotto in termini di nutrienti (es. ferro e microelementi) e di composti antiossidanti (es. licopene, fenoli) (*Sbrana et al., 2014*).

Prove d'inoculazione con prodotti a base di inculo di *Rizophagus irregularis* in pieno campo sono state condotte su coltura di pomodoro da industria e ad asparago in provincia di Foggia. Le piante inoculate sono state più produttive grazie al maggior numero di frutti ed infiorescenze con un numero più abbondante di fiori correlabili alla migliore nutrizione fosfatica delle piante inoculate. L'efficacia dell'inoculazione è stata evidente soprattutto nell'annata in cui la coltura è stata esposta a stress termici dovuti all'andamento meteorologico. In ogni caso, l'inoculazione con FMA ha consentito una riduzione del 50% dell'applicazione di fertilizzante fosfatico (*Conversa et al., 2013*).

L'inoculazione della coltura di asparago con *R. irregularis* non ha avuto effetto molto evidente sulla produzione, ha però migliorato la qualità nutraceutica dei turioni per contenuto di polifenoli e capacità antiossidante totale. L'inoculazione ha inoltre favorito l'asportazione dal terreno di Fe, ma

APPLICAZIONE SPERIMENTALE DELLA COLTIVAZIONE DELL'ASPARAGO AL SISTEMA “AGROVOLTAICO”

anche altri elementi come nichel e metalli pesanti (cromo, piombo, cadmio, arsenico), seppur il livello di questi ultimi è rimasto sempre ben al di sotto dei limiti di sicurezza (*Conversa et al., 2019b*).

Bio-fortificazione agronomica in selenio

Il selenio (Se) svolge molteplici ed importanti funzioni biologiche nell'uomo, questo microelemento riveste un ruolo essenziale per il mantenimento dello stato di salute e nella prevenzione di alcune malattie. Il rischio dell'incidenza di alcuni tipi di cancro e della relativa mortalità aumenta significativamente quando sussistono condizioni di bassa assunzione di selenio; la carenza di selenio è legata inoltre alla perdita di immunocompetenza e alla comparsa e virulenza di alcune malattie virali, pertanto il Se sembra contrastare la progressione dell'HIV e dei virus dell'epatite A and B (*Conversa et al., 2019a*).

Nel 1989 il *National Research Council* americano ha stabilito la dose giornaliera raccomandata per il selenio pari a 75 µg/d per l'uomo, 55 µg/d per la donna e 10-35 µg/d per i bambini fino a 14 anni. La dose massima giornaliera ritenuta sicura è di 350 µg, invece gli effetti preventivi nei confronti delle malattie neoplastiche sono ricondotti alla dose di 200 µg, pertanto la dose ritenuta 'sicura ed efficace' varia tra 50-200 µg al giorno. L'assunzione di selenio della popolazione europea è considerata subottimale, in particolare per i paesi del nord e dell'est Europa (*Stoffaneller and Morse, 2015*).

La produzione di asparago arricchito (biofortificato) in selenio potrebbe rappresentare un'opportunità competitiva per i produttori considerando che già in Italia da alcuni anni sono commercializzate con successo patata e cipolla biofortificate in selenio.

Precedenti esperienze di biofortificazione agronomica di asparago mediante trattamento fogliare con selenato di sodio condotte in provincia di Foggia hanno dimostrato che la dose ottimale (100-125 g ha⁻¹ di Se) ha consentito una fortificazione in selenio dei turioni fino da 7.2 to 16.0 µg 100 g⁻¹ di peso fresco, rappresentando il 10-23% della dose giornaliera raccomandata dall'Agenzia Europea della Sicurezza Alimentare.

Variabilità della fortificazione è stata evidenziata in relazione alle condizioni pedoclimatiche e alla gestione della fertilità del suolo a livello aziendale. In particolare, colture trattate con biostimolanti microbici (incolate con funghi micorrizici arbuscolari) hanno mostrato un maggiore incremento della concentrazione in selenio dei turioni (circa 12 volte) grazie ad aumento della efficienza della concimazione fogliare (*Conversa et al., 2019a*).

La bio-fortificazione agronomica in selenio di asparago soprattutto se abbinata all'inoculazione del suolo con biostimolanti a base di FMA può essere dunque considerata una tecnica a basso impatto rispettosa dell'ambiente, della salute degli operatori, in quanto evita la distribuzione del selenio al terreno e quindi il rischio di inquinamento del suolo e delle acque di falda e superficiali. La semplicità applicativa, la facile implementazione nella tecnica colturale già acquisita dagli agricoltori e l'effettivo aumento del valore del prodotto dovuto al migliore profilo qualitativo nutraceutico ne fanno un intervento di certa sostenibilità ambientale ed economica.

Vi è in ultimo da segnalare che, probabilmente, l'applicazione di biostimolanti microbici a base di funghi micorrizici arbuscolari potrebbe mitigare eventuali effetti negativi derivanti dal cambiamento del microclima o addirittura manifestare effetti sinergici con ripercussioni positive sulla coltura e la qualità dei turioni. Un valore aggiunto del prodotto, come già riferito, deriverebbe anche dall'arricchimento in selenio. Pertanto, sulla base di queste considerazioni, si reputa opportuno

avviare uno studio relativo alla natura delle interazioni tra questi fattori e definire eventuali sinergie tra gli interventi di destagionalizzazione, applicazione di biostimolanti microbici, bio-fortificazione in selenio ed impianto fotovoltaico.

Automatizzazione della raccolta

Ampie sono le possibilità di automatizzare le operazioni colturali. Alcune di queste tecnologie sono già state oggetto d'implementazione e vengono correntemente applicate. Primo fra questi l'**irrigazione**, tramite sistema di sub-irrigazione che consente di conseguire livelli molto elevati di efficienza distributiva dell'acqua. La modulazione “sito-specifica” dei fattori produttivi e dei mezzi di controllo consente un ottimo dosaggio ed un elevato risparmio, a vantaggio dell'ambiente e del bilancio colturale. Sono implementati sistemi di guida automatica (mediante GPS) per la corretta movimentazione dei mezzi elettrici, apparati sensoristici micrometeorologici, sistemi di elaborazione immagini per la valutazione del prodotto da raccogliere, impiego di mappe georeferenziate sulle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli coltivati anche al fine di eseguire un “dosaggio variabile” nelle concimazioni e nel controllo di eventuali patogeni. ciascuno di essi. Il sistema di taglio e raccolta provvede, in ultimo, a completare l'operazione.

La **raccolta automatica di asparagi** sul campo di coltivazione richiede l'utilizzo di sofisticati sistemi di identificazione del turione pronto per il prelievo. Allo scopo, occorre mettere a punto un sistema di visione tridimensionale in grado di acquisire, nelle tre dimensioni dello spazio, la posizione del turione, valutando contestualmente il suo calibro, la sua altezza, ossia la sua idoneità alla raccolta. La visione stereoscopica si basa sull'impiego di due o più telecamere montate su un mezzo mobile elettrico. Le dimensioni delle singole scene inquadrare è pari a 100 cm (larghezza) x 50 cm (profondità) x 50 cm (altezza) ed è strettamente legata alla tipologia dei sistemi di visione utilizzati ed alla loro risoluzione.

Un *software*, appositamente sviluppato, utilizza algoritmi d'intelligenza artificiale e viene addestrato mediante modelli di *deep learning* impiegando grandi set di dati ed architetture di reti neurali in grado di apprendere direttamente dai dati acquisiti sul campo. In tal modo si effettua il riconoscimento degli asparagi all'interno del quadro immagine 3D. Parametri configurati *ad hoc* consentono di definire le coordinate spaziali di posizionamento del turione e le specifiche condizioni di coltivazione.

Il sistema di visione, viene montato a bordo di un mezzo mobile e che si muove sul campo seguendo una traiettoria lineare (nel senso della profondità) ed acquisisce la visione stereoscopica. Il principio base della visione stereoscopica consiste in un triangolazione mirata a mettere in relazione la proiezione di un punto della scena sui due (o più) piani immagine delle telecamere (denominati punti omologhi), che compongono il sistema di visione stereoscopico. L'individuazione dei punti omologhi (*matching stereo*) consente di ottenere una particolare grandezza, denominata “*disparità*”, che rappresenta la differenza di posizione dei due punti omologhi nelle immagini, mediante la quale, è possibile risalire alla posizione 3D del punto considerato.

Un computer, ad alte prestazioni elaborative, elaborerà tutte le *disparità* dei punti della scena e ricostruisce l'immagine 3D della scena, rendendola disponibile al *software* di ricerca asparagi. Il software effettua il riconoscimento degli asparagi all'interno dell'immagine 3D, calcola il livello di crescita e fornisce al sistema di taglio le coordinate degli asparagi da raccogliere. Le coordinate degli

asparagi presenti nella scena e da raccogliere verranno fornite al braccio meccanico (anch'esso montato a bordo del mezzo mobile) per il taglio automatico dell'asparago alla base dello stesso ed il suo rilascio sul terreno. Il prelievo degli asparagi tagliati ed il loro eventuale deposito in cassetta potrebbe anch'esso essere eseguito in automatico.

Il mezzo mobile si muove su tutto l'appezzamento del terreno, acquisendo immagini ed effettuando i tagli degli asparagi. La movimentazione del mezzo verrà realizzata tramite motori elettrici, alimentati da batterie ricaricabili. La carica delle batterie potrà essere eseguita a fine giornata, collegando il mezzo stesso, o la sola batteria, all'impianto fotovoltaico. Il mezzo è corredato di sistema GPS per poter programmare il percorso da effettuare sul campo e per effettuare le dovute correzioni di rotta durante il ciclo di raccolta.

L'uso integrato delle diverse tecnologie, a partire dalla visione tridimensionale per l'acquisizione della scena di produzione, del *deep learning*, per addestrare il sistema con la mole di dati necessarie ad identificare l'asparago (prodotto della natura con caratteristiche di forma, dimensione e colori variabili), del braccio robotizzato di taglio, completo di guida robot 3D, e del sistema di guida GPS del mezzo nel campo agricolo forniscono al progetto un alto contenuto innovativo in campo agricolo.

Impiego delle bioplastiche per realizzare piccoli tunnel di copertura della coltivazione

È un particolare tipo di plastica che deve derivare da materie prime rinnovabili o essere totalmente biodegradabile e compostabile. In commercio è oggi rintracciabile il MATER-BI, ideato e prodotto da NOVAMONT. Trattasi di un'innovativa famiglia di bioplastiche che utilizza componenti vegetali. Grazie alle sue caratteristiche di biodegradabilità e compostabilità consente di ottimizzare la gestione dei rifiuti organici, contribuendo allo sviluppo di sistemi virtuosi con vantaggi significativi lungo tutto il ciclo produzione-consumo-smaltimento. Una delle componenti che entra nel processo di realizzazione del Mater-Bi è la famiglia degli ORIGO-BI, biopoliesteri ottenuti a partire da materie prime di origine rinnovabile grazie ad una tecnologia proprietaria Novamont. I gradi di MATER-BI sono tutti certificati secondo le norme europee ed internazionali presso organismi accreditati.

La biodegradabilità è la capacità di una sostanza organica, cioè di origine vegetale o animale, di decomporsi in sostanze più semplici sotto l'azione di batteri e altri microorganismi. La biodegradabilità è propria di alcune sostanze naturali, ad esempio le foglie di una foresta che cadono al suolo e si trasformano in humus, ma anche dei rifiuti organici prodotti dall'uomo. La biodegradazione dei rifiuti consente il loro reinserimento nel ciclo naturale: questo li rende nuovamente disponibili per una nuova vita.

La compostabilità è la capacità di un materiale organico, animale o vegetale, di decomporsi trasformandosi in una miscela di sostanze detta compost, utilizzata in agronomia come fertilizzante e ristrutturante del terreno. Il processo che porta alla formazione di questo ammendante agricolo è detto compostaggio.

Queste proprietà permettono alla materia plastica impiegata in campo di essere completamente degradata in campo senza la necessità di essere recuperata dal campo a fine ciclo di coltivazione e di essere smaltita come rifiuto speciale agricolo secondo le modalità previste dalla normativa.

Diversamente, questo materiale residuo (proprio perché biodegradabile e compostabile) può essere semplicemente disgregato meccanicamente al suolo dove, per intervento dei microrganismi, andrà incontro ad un processo di naturale degradazione. Oltre ai fondamentali risvolti di salvaguardia ambientale, questa pratica consente di conseguire un notevole risparmio di tempo ed evita di sostenere i costi di smaltimento del materiale plastico.

Si è attualmente in fase di verifica sulla disponibilità commerciale di materiale che presenti le suddette prerogative e che sia idoneo non tanto ad essere impiegato come telo pacciamante (già largamente utilizzato in orticoltura), quanto come materiale di copertura nella realizzazione di piccoli tunnel che consentano il riscaldamento dell'aria a ridosso del suolo, così consentendo un anticipo della raccolta. Ovviamente debbono essere rispettate specifiche proprietà ottiche di trasmittanza della radiazione solare affinché queste proprietà possano essere pienamente confermate.

Valorizzazione degli scarti mediante una piattaforma di bioraffineria

Stima dei residui disponibili

La coltivazione e la successiva lavorazione dell'asparago genera una elevata quantità di sottoprodotti che si aggira intorno al 30-40% in peso del prodotto raccolto. Essi sono costituiti dai residui colturali in campo (circa 20%) ma di difficile gestione, nonché dalle sezioni recise dell'asparago già raccolto e presente presso il cento aziendale di selezione e confezionamento (un altro 20% circa).

Sia i residui che gli scarti di lavorazione debbono oggi considerarsi (alla luce di una recente legislazione in materia) dei “**sottoprodotti**”. La produzione di sottoprodotti si aggira intorno a 19 mila tonnellate sul territorio nazionale. Questi sono spesso sottoutilizzati, ad esempio quando sono destinati alla nutrizione animale, o addirittura trattati come rifiuto, generando delle ripercussioni economiche ed ambientali negative sull'intero processo produttivo.

Dalle indagini condotte nel foggiano, gli scarti della lavorazione dell'asparago (parte basale dei turioni bianca e fibrosa, a seguito del taglio a circa 13-15 cm dall'apice) possono rappresentare anche il 20% della produzione totale che molte aziende del foggiano conferiscono, a costo zero, alle aziende zootecniche locali.

Questi scarti sono ancora molto ricchi di fibre alimentari e composti bioattivi come fruttani, pectine, flavonoidi, acidi idrossicinnammici, steroli e saponine che potenzialmente potrebbero essere ulteriormente valorizzati come fonte di composti funzionali e bioattivi adottando un efficace approccio di bioraffineria.

Processi di bioraffineria e di chimica verde

La bioraffineria consiste nell'integrazione di processi chimici, termochimici e biotecnologici finalizzata alla conversione della biomassa, attraverso processi sequenziali a cascata, in prodotti di valore economico (composti chimici, biomateriali, biocarburanti, energia, etc.). Risulta quindi evidente come questo nuovo paradigma sia strettamente connesso con altri concetti di estrema attualità: la bioeconomia e l'economia circolare, come pure la chimica verde. La nuova generazione di Bioraffineria combina l'utilizzo di biomasse “alternative” (sottoprodotti/residui, rifiuti, etc) con

IL SISTEMA “AGROVOLTAICO”: UNA VIRTUOSA INTEGRAZIONE MULTIFUNZIONALE IN AGRICOLTURA

processi di estrazione e purificazione e/o sintesi di biomateriali, biofuel e bioenergia attraverso processi green, a basso impatto per l'ambiente e per la salute dell'uomo, ispirandosi ai 12 principi della “chimica verde”. Tra questi, i principali e più utilizzati sono i processi di estrazione assistiti da microonde (MAE-Microwave Assisted Extraction), con ultrasuoni (UAE Ultrasound Assisted Extraction) e estrazioni con fluidi sub- e supercritici (CO₂ ed H₂O). L'utilizzo di solventi green (acqua, etanolo, alcol isopropilico, metilisobutil chetone, etil acetato, etc) permette di ottenere estratti e derivati di elevata qualità ed utilizzabili direttamente per uso umano o animale in accordo con le vigenti normative. Inoltre, il passaggio chiave nella realizzazione di un processo di bioraffineria consiste nell'identificazione e nella quantificazione, attraverso processi di analisi chimica, di tutti i composti potenzialmente di elevato valore (composti bioattivi, piattaforma, etc) estraibili dalla biomassa oggetto di valutazione.

Descrizione dell'attività di ricerca

Obiettivo: Definire un processo integrato di valorizzazione dei residui di coltivazione e lavorazione dell'asparago (discriminando tra residui dalla lavorazione industriale e residui culturali in campo) in modo da procedere all'estrazione di composti chimici che abbiano un elevato valore di mercato e che, pertanto, possano trovare un'ideale destinazione commerciale.

Metodi: Realizzare una “piattaforma” estrattiva che impieghi metodi chimici a basso impatto ambientale e a limitato dispendio energetico, secondo i criteri della “chimica verde”. Il processo di trattamento del materiale di scarto si modella, in tutto e per tutto, ai principi della “bioraffineria”. Questo approccio consente un deciso incremento del valore aggiunto conseguito dall'intera filiera agroindustriale, realizzando ottime prestazioni sia in termini economici che ambientali.

Attività: La ricerca in atto avrà il compito di definire i processi chimico-estrattivi più idonei per caratterizzare, frazionare ed estrarre composti chimici d'interesse commerciale, da poter impiegare nell'industria alimentare, in quella salutistica o farmaceutica, in quella chimica dei polimeri alternativi alle plastiche di origine fossile, ecc.

Avere la disponibilità di un residuo colturale come materiale di partenza per avviare un processo produttivo vuol dire organizzare una filiera partendo da una posizione di grande vantaggio. Infatti, tutti i costi produttivi posizionati a monte della materia in ingresso sono attribuiti al prodotto principale (nel nostro caso la parte edibile dell'asparago) e nessun costo, invece, deve essere addebitato al residuo che rappresenta un sottoprodotto (ovvero un prodotto secondario della produzione agroindustriale).

Proposta operativa: Occorre immaginare il processo produttivo di trasformazione a carico della materia residuale (porzioni non eduli del carciofo) come costituito da una precisa sequenza di passaggi estrattivi. Ad ogni passaggio, una categoria o famiglia di composti chimici “target” viene sottoposta ad estrazione selettiva e, pertanto, avviata a commercializzazione (tal quale o convenientemente trattata). Ciò che residua da tale processo viene ulteriormente trattato mediante processo estrattivo a carico di un'ulteriore categoria di sostanze. Questa successione di trattamenti chimici consente di moltiplicare le potenzialità produttive del materiale impiegato “ab origine” conseguendo efficienze estrattive particolarmente elevate. Il residuo finale dei processi estrattivi posti in sequenza può essere impiegato, in ultimo, nell'alimentazione animale (mangimistica) o, nell'ipotesi meno favorevole, come combustibile per ottenere energia rinnovabile (eventualmente da impiegare nei processi estrattivi stessi).

APPLICAZIONE SPERIMENTALE DELLA COLTIVAZIONE DELL'ASPARAGO AL SISTEMA “AGROVOLTAICO”

L’adozione di processi di chimica verde implica che tutte le molecole estratte non manifestano alcun significativo livello di contaminazione da composti estranei a quelli naturalmente presenti nel sottoprodotto di origine.

Le fasi estrattive: La piattaforma tecnologica che si vuole realizzare secondo l’approccio “biorefinery” si compone essenzialmente di tre fasi estrattive in sequenza; la prima è finalizzata all’estrazione di composti lipidici (steroli e saponine), la seconda è finalizzata all’estrazione di composti fenolici (acidi idrossicinnammici), mentre la terza ha come composti target le pectine ed i fruttani (FOS). Ad ogni passaggio estrattivo i rispettivi residui d’estrazione possono essere ulteriormente trattati per promuovere la conversione dei composti chimici ancora presenti (in particolare carboidrati a funzione strutturale originati da cellulosa ed emicellulosa) in “platform compounds” (quali acido levulinico, idrossimetil furfurale, acido lattico).

Valutazione dei processi: L’attività di verifica sperimentale ha il compito cruciale di definire i metodi ed i processi estrattivi, verificarne le migliori condizioni operative e le procedure più “soft” in relazione al possibile impatto ambientale che potrebbe derivarne, valutare i livelli di efficienza d’estrazione che si possono conseguire attraverso un saggio delle combinazioni fattoriali fra le differenti condizioni sperimentali (temperatura, tempo di trattamento, concentrazione del solvente, ecc.).

Ad ogni passaggio d’estrazione, eseguito secondo definite condizioni operative, occorre procedere alla caratterizzazione chimica del materiale residuo, ciò per poter valutare l’eventuale permanenza della molecola d’interesse (e quindi l’efficienza del processo chimico adottato) e le possibilità ulteriori di isolamento ed estrazione di altri composti commercialmente utili.

Allestimento della prova sperimentale

La prova sperimentale si svolge a pieno campo e prevede il confronto fra due blocchi, sufficientemente ampi e possibilmente contigui, l’uno con la sola coltura di asparago (ASPO), l’altro con asparago in presenza di moduli solari secondo l’assetto agrovoltico (ASPF). All’interno di ciascuna delle aree riferibili ai blocchi, saranno previsti parcelloni di confronto tra coltura destagionalizzata (DES) (riscaldamento basale + tunnelini) e tradizionale (TRAD) e questi a loro volta saranno suddivisi in parcelle di coltura trattata con biostimolanti microbici a base di funghi arbuscolari micorrizici (FAM) e non trattata (NO-FAM). Tutte le piante a fine estate saranno trattate (parte aerea) con soluzione di selenato di sodio.

Rilevazioni sperimentali

A partire dall’impianto fino al termine del programma di ricerca e considerando tutte le parcelle corrispondenti ai diversi trattamenti sperimentali indicati nella sezione precedente, saranno valutati una serie di aspetti legati alla crescita e alla bio-fisiologia della pianta mediante la determinazione strumentale delle seguenti variabili:

- a) *crescita del rizoma:* accumulo di biomassa fresca e secca nel rizoma;
- b) *sostanze di riserva del rizoma:* accumulo di zuccheri semplici (glucosio, fruttosio e saccarosio) e complessi (fruttani, amido) nel rizoma;

APPLICAZIONE SPERIMENTALE DELLA COLTIVAZIONE DELL’ASPARAGO AL SISTEMA “AGROVOLTAICO”

IL SISTEMA “AGROVOLTAICO”: UNA VIRTUOSA INTEGRAZIONE MULTIFUNZIONALE IN AGRICOLTURA

- c) *nutrizione del rizoma*: accumulo di macro-, micro-nutrienti ed elementi traccia nel rizoma;
- d) *crescita del parte aerea*: accumulo di biomassa fresca e secca nella parte aerea, ossia turioni e cladodi;
- e) *nutrizione parte aerea*: accumulo di macro- (N, P K), micro-nutrienti ed elementi traccia nella parte aerea, ossia turioni e cladodi;
- f) *attività fotosintetica*: contenuto di clorofilla della parte aerea (turioni e cladodi) e SPAD;
- g) *qualità organolettica*: fibrosità dei turioni (resistenza al taglio, contenuto in fibra);
- h) *qualità visiva*: colore dei turioni;
- i) *qualità morfologica*: verifica della conformazione dei turioni ed incidenza di turioni ricurvi o con altri difetti morfologici; ripartizione dei turioni secondo il loro calibro;
- j) *qualità nutrizionale*: contenuto in sostanze antiossidanti dei turioni (polifenoli, vitamina C, Se);
- k) *indici di micorrizzazione delle radici*: frequenza ed intensità di colonizzazione ed abbondanza arbuscolare;
- l) *produttività della coltura*: produzione totale, commerciabile e scarto per unità di superficie.

Riferimenti bibliografici

Avio, L., Turrini, A., Giovannetti, M. and Sbrana, C. (2018) Designing the ideotype mycorrhizal symbionts for the production of healthy food. *Front Plant Sci* 9, 1089–1107.

Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., Bianciotto, V. (2016) Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. *Front. Microbiol.* 6:1559.

Bitterlich, M., Rouphael, Y., Graefe, J. and Franken, P. (2018) Arbuscular mycorrhizas: a promising component of plant growth. *Front Plant Sci* 9, 1329.

Conversa G., Lazzizzera C., Chiaravalle A.E., Miedico O., Bonasia A., La Rotonda P., Elia, A. (2019a). Selenium fern application and arbuscular mycorrhizal fungi soil inoculation enhance Se content and antioxidant properties of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears. *Sci. Hortic.* 252, 176-191.

Conversa, G., Lazzizzera, C., Bonasia, A., Elia A. (2013) Yield and phosphorus uptake of a processing tomato crop grown at different phosphorus levels in a calcareous soil as affected by mycorrhizal inoculation under field conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 49, 691-703.

Conversa, G., Miedico, O., Chiaravalle, A.E., Elia, A. (2019b) Heavy metal contents in green spears of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) grown in Southern Italy: variability among farms, genotypes and effect of soil mycorrhizal inoculation. *Sci Hort* 256 (108559):12.

Paroussi, G., Koutsos, T.V., Paroussis, E. 2002. Soil heating techniques for forcing outdoor white asparagus into production. *Journal of Vegetable Crop Production*, 8, 3-10.

Paroussi, G., Koutsos, T.V., Paroussis, E., Pritsa, T., Voyiatzis, D. 2007. Effect of cultivar and soil heating treatment on off-season production of white asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Acta Horticulturae* Volume 729, Pages 287-291

APPLICAZIONE SPERIMENTALE DELLA COLTIVAZIONE DELL'ASPARAGO AL SISTEMA “AGROVOLTAICO”

IL SISTEMA “AGROVOLTAICO”: UNA VIRTUOSA INTEGRAZIONE MULTIFUNZIONALE IN AGRICOLTURA

Rouphael, Y., Colla, G. Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front. Plant Sci.* 2018, 9, 1655.

Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P. et al. (2015) Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Sci Hortic* 196, 91–108.

Sbrana, C., Avio, L. and Giovannetti, M. (2014) Beneficial mycorrhizal symbionts affecting the production of health promoting phytochemicals. *Electrophoresis* 35, 1535–1546.

Stoffaneller, R., Morse, N.L., 2015. A review of dietary selenium intake and selenium status in Europe and the Middle East. *Nutrients* 7, 1494–1537.

Van Oosten M.J., Pepe O., De Pascale S., Siletti S., Maggio A., 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants, “Chemical and Biological Technologies in Agriculture” vol. 4,5: 1-12

Quadro riepilogativo dei costi dell'attività di ricerca

	1 anno	2 anno	3 anno	Totale
Effetti micrometeorologici rilevati sulla coltivazione di asparago conseguenti all'applicazione del sistema "agrovoltaico"				
Personale adibito alla ricerca	8.000,00	8.000,00	8.000,00	24.000,00
Viaggi e trasferte	2.000,00	2.000,00	2.000,00	6.000,00
Acquisto attrezzature	10.000,00	0,00	0,00	10.000,00
Costo servizi analisi e beni di consumo	0,00	0,00	0,00	0,00
Spese generali	2.000,00	2.000,00	2.000,00	6.000,00
Totale	22.000,00	12.000,00	12.000,00	46.000,00
Miglioramenti della tecnica colturale dell'asparago in assetto "agrovoltaico" ai fini di un incremento della sostenibilità ambientale ed economica del processo produttivo				
Personale adibito alla ricerca	8.000,00	8.000,00	8.000,00	24.000,00
Viaggi e trasferte	2.000,00	2.000,00	2.000,00	6.000,00
Acquisto attrezzature	5.000,00	0,00	0,00	5.000,00
Costo servizi analisi e beni di consumo	0,00	0,00	0,00	0,00
Spese generali	2.000,00	2.000,00	2.000,00	6.000,00
Totale	17.000,00	12.000,00	12.000,00	41.000,00
Automatizzazione della raccolta ed impiego delle bioplastiche per realizzare piccoli tunnel di copertura della coltivazione				
Personale adibito alla ricerca	5.000,00	5.000,00	5.000,00	15.000,00
Viaggi e trasferte	0,00	0,00	0,00	0,00
Acquisto attrezzature	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo servizi analisi e beni di consumo	0,00	0,00	0,00	0,00
Spese generali	1.000,00	1.000,00	1.000,00	3.000,00
Totale	6.000,00	6.000,00	6.000,00	18.000,00
Valorizzazione degli scarti mediante una piattaforma di bioraffineria				
Personale adibito alla ricerca	8.000,00	8.000,00	8.000,00	24.000,00
Viaggi e trasferte	0,00	0,00	0,00	0,00
Acquisto attrezzature	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo servizi analisi e beni di consumo	6.000,00	6.000,00	6.000,00	18.000,00
Spese generali	2.000,00	2.000,00	2.000,00	6.000,00
Totale	16.000,00	16.000,00	16.000,00	48.000,00
Totale generale				
Personale adibito alla ricerca	29.000,00	29.000,00	29.000,00	87.000,00
Viaggi e trasferte	4.000,00	4.000,00	4.000,00	12.000,00
Acquisto attrezzature	15.000,00	0,00	0,00	15.000,00
Costo servizi analisi e beni di consumo	6.000,00	6.000,00	6.000,00	18.000,00
Spese generali	7.000,00	7.000,00	7.000,00	21.000,00
Totale generale	61.000,00	46.000,00	46.000,00	153.000,00

STAR*AgroEnergy Research Unit
Università di Foggia
www.star-agroenergy.eu
prof. Massimo Monteleone
via Napoli, 25 – 71121 Foggia
tel. +39.0881.589223
massimo.monteleone@unifg.it

Università di Foggia
Dipartimento di Scienze Agrarie,
degli Alimenti e dell'Ambiente
Via Napoli 25 – 71121 Foggia
Direttore: prof.sa Milena Sinigaglia
Segreteria amministrativa
tel. +39.0881.589216

STAR*Facility Centre
Zona Industriale di Foggia
S.S.16 (Foggia-Bari) km 684,3
<http://starfacilitycentre.unifg.it>
dott. Matteo Francavilla
tel. +39.0881.680195
matteo.francavilla@unifg.it