

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-24 - RICERCA DI SISTEMA
ELETTRICO NAZIONALE**
Progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26 gennaio 2000

ENEA/RSE/CNR

Tema 1.1 Titolo del progetto: Fotovoltaico ad alta efficienza

Durata: 36 mesi

Semestre n. 3 – Periodo attività: 01/01/2023 – 30/06/2023

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

Il progetto si compone di 4 work package (WP): WP1 - Crescita del rapporto efficienza/costo di celle e moduli FV, WP2 - Nuove soluzioni per una maggiore penetrazione del FV nel sistema elettrico, WP3 - Metodologie e tecnologie avanzate per mappatura, monitoraggio e ottimizzazione dell'energia generata da FV e WP4 - Attività di coordinamento e gestione del progetto, Attività internazionali, Diffusione dei risultati e Collaborazione. In questo semestre sono state avviate molte delle attività previste per i co-beneficiari.

In relazione al WP1 sono state portate avanti le attività sullo sviluppo di celle in perovskite. È continuato lo studio che riguarda la sostituzione del clorobenzene con l'anisolo, mostrando la possibilità di ottenere con quest'ultimo celle a bassa isteresi e stabili. È iniziata la sintesi di nuovi strati trasportatori di lacune da utilizzare nei dispositivi in perovskite ed è stato avviato lo studio di metodi computazionali per valutare possibili strategie per migliorare il trasferimento di carica. È continuato, inoltre, lo sviluppo di perovskite MAPI co-evaporata ottenuta con approccio ibrido (evaporazione del solo precursore inorganico e applicazione della soluzione di MAI per spin-coating o con inkjet printing). Nel caso di celle con perovskite co-evaporata si sono ottenuti parametri fotovoltaici prossimi a quelli raggiunti nell'approccio spin-coating. È stato anche avviato lo studio di perovskite evaporata a base stagno, esplorando sia la co-evaporazione che la deposizione sequenziale degli strati. Si è lavorato poi all'ottimizzazione delle prestazioni di celle in perovskite semi-trasparenti per applicazione in celle tandem perovskite/Si, misurando efficienza maggiori del 16%. Sono, poi, stati realizzati prototipi di moduli FV in perovskite con efficienza massima del 16.1% su un'area attiva di 186 cm², con un processo basato su un approccio scalabile in aria e bassa temperatura.

Si è lavorato allo sviluppo di celle ad eterogiunzione di Si (SHJ), realizzando dispositivi con differenti combinazioni di TCO (AZO e ITO depositato con due differenti potenze di sputtering), ottenendo celle SHJ con Voc maggiori di 710 mV. Connettendo meccanicamente celle SHJ con celle in perovskite semitrasparenti sono state ottenute celle tandem perovskite/Si con efficienza massima pari a 28,44%. Sono poi iniziati studi di materiali da utilizzare come strati trasportatori in celle, come il TiO₂ depositato con tecnica Atomic Layer Deposition (ALD) o materiali bidimensionali, e sono stati selezionati i materiali polimerici da sperimentare per la realizzazione di moduli FV di nuova generazione.

In relazione al WP2, gli studi hanno previsto sperimentazioni sullo sviluppo di celle organiche per applicazione in agrivoltaico e attività collegate alla realizzazione di un impianto dimostratore agrivoltaico, individuando tecnologia e sito di realizzazione. Nella serra con copertura FV realizzata nello scorso triennio nell'orto botanico di Portici è stato completato l'allestimento interno per gli studi previsti dal progetto sulla crescita delle tipologie di piante individuate. Sono state poi avviate attività che hanno lo scopo di fornire indirizzi e criteri a supporto dei piani Paesaggistici e dei Piani

Territoriali a valenza Paesaggistica per una localizzazione compatibile degli impianti agrivoltaici. È stata effettuata una ricognizione sullo stato della Pianificazione Paesaggistica in Italia al fine di individuare alcune regioni campione per una successiva fase di approfondimento.

Per quanto riguarda il WP3 sono state studiate possibili metodologie per la determinazione di anomalie di funzionamento di impianti FV, valutando che tecniche di Graph Signal Processing o Deep Learning posso essere applicate per il rilevamento di anomalie di produzione negli impianti PV.

Per quanto riguarda le azioni di coordinamento del progetto (WP4), sono state condotte riunioni periodiche con RSE e CNR. Si sono effettuate le azioni di disseminazioni nei convegni/conferenze previste nel periodo di riferimento. Infine, sono state portate avanti, come già avvenuto nel passato, le attività del Photovoltaic Power Systems Technology Collaboration Programme della IEA nei vari task in cui l'ENEA è coinvolta.

ATTIVITA' SVOLTE

<i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i>	<i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i>
ENEA	<p>Nell'ambito delle attività previste del WP1 sono continuate le sperimentazioni che riguardano lo sviluppo di celle solari in perovskite (LA1.12), di celle a eterogiunzione di silicio (LA1.20), di celle tandem perovskite/Si (LA1.27) e lo sviluppo di polimeri da utilizzare come possibili incapsulanti (LA1.30). In relazione alle attività sullo sviluppo di celle in perovskite, sono continuati gli studi che riguardano la sostituzione del clorobenzene con l'anisolo. Si è osservato che, quando l'anisolo è utilizzato come antisolvente, i dispositivi hanno un'isteresi più bassa rispetto a quelli realizzati con il clorobenzene e mantengono l'80% dell'efficienza iniziale dopo 90 giorni dalla loro fabbricazione. È continuata, inoltre, lo sviluppo di perovskite MAPI co-evaporata ottenuta con approccio ibrido (evaporazione del solo precursore inorganico e applicazione della soluzione di MAI per spin-coating o con inkjet printing). Le celle realizzate presentano fenomeni di isteresi che richiederanno successive ottimizzazioni delle interfacce. Per le celle da co-evaporazione è evidente la tendenza migliorativa delle prestazioni elettriche al procedere dell'ottimizzazione del materiale assorbitore in batch successivi, con i dispositivi migliori caratterizzati da parametri fotovoltaici prossimi a quelli raggiunti nel triennio precedente nell'approccio spin-coating. La statistica per celle da metodi ibridi mostra valori di Voc solo leggermente inferiori a quelli da co-evaporazione, mentre il FF delle celle da evaporazione/inkjet al momento risultano più bassi.</p> <p>Per quanto riguarda le celle solari ad eterogiunzione di silicio, sono state realizzate celle con diversi TCO: AZO e ITO, quest'ultimo depositato a due differenti valori di pressione. Sono stati quindi valutati gli effetti ottici ed elettrici dei vari TCO. Sono state ottenute celle con Voc maggiore di 710 mV, anche utilizzando differenti combinazioni di TCO. È continuato, inoltre, lo studio che ha lo scopo di analizzare il rapporto tra tensioni di circuito aperto e dimensioni e geometrie di piccole celle solari utili agli studi in corso nel progetto ma anche nell'ottica di realizzare moduli FV</p>

	<p>con celle ritagliate (half-cut cells). È stato sviluppato un modello a 3 diodi per simulare gli effetti del taglio delle celle ed è stato dimostrato che un processo di ri-passivazione dei bordi delle celle tagliate consente di ripristinare i valori di Voc e prevenire possibili contaminazioni a prescindere dalle dimensioni delle celle.</p> <p>In relazione allo sviluppo di celle tandem perovskite/silicio si è lavorato all'ulteriore ottimizzazione della cella semi-trasparente in perovskite, agendo sul drogaggio dello strato trasportatore di lacune (PTAA) e sulla passivazione dello strato di perovskite. In questo modo si è riusciti a misurare un'efficienza massima di 28.44 % su celle tandem ottenute connettendo meccanicamente la cella in perovskite alla cella ad eterogiunzione di Si.</p> <p>In relazione allo sviluppo di film polimerici da utilizzare come incapsulanti per moduli FV, l'analisi dei risultati delle caratterizzazioni effettuate prima e dopo i test di invecchiamento accelerato UV ha consentito di selezionare i film polimerici con migliori prestazioni per testarli nei dispositivi da realizzare nel prosieguo delle attività.</p> <p>Le attività nel WP2 hanno previsto sperimentazioni sullo sviluppo di celle organiche per applicazione in agrivoltaico e attività collegate alla realizzazione di un impianto dimostratore agrivoltatico. Per quanto riguarda la prima attività, dopo aver individuato alcuni materiali e architetture di dispositivo, è iniziato lo sviluppo dei layer e la realizzazione dei primi dispositivi organici. È stata definita la possibilità di realizzare un impianto agrivoltaico elevato fisso in località Scalea le cui prestazioni saranno confrontate con quelle di un dimostratore del tutto analogo e già esistente realizzato con tecnologia ad inseguimento con singolo asse.</p> <p>Sono state completate le attività della LA3.5 inserita nel WP3 con lo studio di possibili metodologie per la determinazione di anomalie di funzionamento di impianti FV. È emersa una strutturazione a grafo del dato di produzione di insiemi di impianti geograficamente distribuiti, dove è relativo l'impatto della distanza geografica rispetto alle correlazioni tra i segnali di produzione. Tecniche di Graph Signal Processing o Deep Learning possono essere, quindi, applicate per il rilevamento di anomalie di produzione negli impianti PV.</p> <p>Per quanto riguarda le azioni di coordinamento del progetto (WP4), sono state condotte riunioni periodiche con RSE e CNR. Sono effettuate le azioni di disseminazioni nei convegni/conferenze/workshop previsti nel periodo di riferimento.</p> <p>Infine, vengono portate avanti le attività del Photovoltaic Power Systems Technology Collaboration Programme della IEA nei vari task in cui l'ENEA è coinvolta.</p>
<p>Università di Roma Tor Vergata - Dipartimento di Ingegneria Elettronica</p>	<p>L'attività in questo semestre si è focalizzata sul miglioramento delle celle in perovskite semitrasparenti per applicazione in celle tandem perovskite/Si e sulla realizzazione di prototipi di moduli fotovoltaici in perovskite.</p> <p>Per la realizzazione dei moduli sono state utilizzate celle solari in configurazione diretta (n-i-p) e architettura planare. Il processo di fabbricazione del modulo è basato su un approccio scalabile in aria e bassa temperatura. L'ottimizzazione del processo di realizzazione dei moduli è avvenuta sia per la parte che riguarda il patterning di FTO, che per la parte che consente i vari strati della cella (ETL in ossido di stagno, deposizione</p>

	<p>di perovskite con tecnica blade/slot-die, seguita da PEAI e Spiro-OMeTAD). Con passivazione PEAI e ottimizzazione della soluzione di perovskite con acetonitrile, il modulo raggiunge un'efficienza del 16.1% su un'area attiva di 186cm², Voc di 18.2 V, Isc di 263.4 mA e FF del 62.8%. Il test di stabilità ISOS-D-1 per 1000 ore conferma l'elevata stabilità del dispositivo.</p> <p>Per quanto riguarda lo sviluppo di celle semitrasparenti, sono continuati gli studi che riguardano l'utilizzo di uno strato buffer realizzato con un film di ossido di molibdeno o ossido di vanadio posto tra il trasportatore di lacune e il TCO al fine di ridurre il danneggiamento indotto dal processo di sputtering necessario alla deposizione del TCO sui layer sottostanti. In questo periodo sono stati ottimizzati gli spessori del buffer layer, ottenendo efficienze maggiori del 16% con 7,5 nm di MoOx, mentre l'utilizzo dell'ossido di vanadio ha dato evidenza di maggiore stabilità delle prestazioni.</p>
<p>Università di Napoli "Federico II" - Dip. di Chimica</p>	<p>Nei primi tre mesi di attività sono stati sintetizzati quattro materiali costituiti da un core elettrone-attrattore (isoindigo) simmetricamente accoppiato a due unità donatrici (tiofeniche o furaniche) e funzionalizzato in posizione terminale con gruppi attrattori ausiliari (derivati dell'indandione).</p> <p>L'identità chimica dei materiali preparati è stata verificata attraverso analisi NMR e di spettrometria di massa. Il comportamento ottico è stato analizzato mediante spettroscopia UV-Vis sia in soluzione di cloroformio che in fase film, con i film preparati attraverso la tecnica dello spin-coating. In fase film i materiali presentano un massimo di assorbimento superiore ai 700 nm con bandgap ottiche tra 1.60 e 1.66 eV. Attraverso misure di voltammetria ciclica si sono determinati valori di HOMO intorno ai -6.0 eV e valori di LUMO intorno ai -4.3 eV. Tali valori si allineano con la superficie delle bande di valenza e conduzione delle perovskiti ibride tipicamente utilizzate nelle celle solari a perovskite in maniera corretta per un loro possibile utilizzo come ETL in tali dispositivi.</p>
<p>Università di Napoli "Federico II" - Dip. di Ingegneria Chimica, dei Materiali e dei Processi Industriali</p>	<p>Le attività prevedono lo studio di tecniche di fabbricazione in vuoto di perovskite a base stagno. Durante questa fase del progetto sono state esplorate due possibili approcci, co-evaporazione e sequenziale. La co-evaporazione ha permesso di formare film relativamente uniformi. A seconda dei tempi di deposizione è stata osservata la formazione o meno della perovskite già durante la deposizione. I film sono stati caratterizzati con SEM, XRD e PL. In ogni caso si è reso necessario un annealing successivo alla evaporazione per convertire completamente i precursori in perovskite. Oltre all'utilizzo dei soli precursori della perovskite, si sono esplorati anche additivi che possano funzionare da droganti per controllare il livello di doping della perovskite. Questi non hanno disturbato la formazione del film di perovskite, ma il loro impatto sulle proprietà elettriche del materiale sarà valutato solo successivamente quando saranno realizzati dispositivi.</p>
<p>Università di Torino - Dip. di Chimica</p>	<p>Le molecole individuate in fase di scrittura del progetto come possibili materiali estrattori di elettroni (ETM) per le celle a Perovskite appartengono alle famiglie delle naftalendiimmidi (NDIs), benzobistiazoli (BTT), benzotiazoli (BTD) e azaceni. Inizialmente è stata effettuata una ricerca bibliografica per un aggiornamento dello stato</p>

	<p>dell'arte di questi ETM per le celle a perovskite in configurazione sia tradizionale e che invertita. In seguito, la seconda parte della ricerca bibliografica è stata effettuata per la progettazione e il design delle molecole individuate. Parte importante della ricerca è stata focalizzata sui sostituenti da aggiungere alle molecole per ottenere una solubilità e una formazione del film sottile adeguata a una solubilità sufficiente nei solventi generalmente utilizzati come il clorobenzene o il 1,2 diclorobenzene. Infine, nel primo semestre è stata iniziata la sintesi di molecole NDI. La fase di sintesi procede in due fasi. Nella prima fase vari sostituenti in posizione assiale sono stati aggiunti per ottimizzare la solubilità e la formazione del film. La sintesi generale prevede un eccesso della base in acido acetico e la reazione è lasciata reagire a 140°C per 24h.</p>
<p>Università di Napoli "Federico II" - Dip. di Fisica</p>	<p>Questa attività prevede l'utilizzo di metodi computazionali a supporto dello sviluppo sperimentale di celle in perovskite. Si è valutato, ad esempio, come l'utilizzo di interlayer di sale tra la perovskite ed i trasportatori di carica può migliorare il legame tra i due materiali ed il trasferimento di carica. È stato considerato un modello di interfaccia tra la superficie (010) della perovskite CH₃NH₃PbI₃ (MAPI) ed uno strato di NaCl di spessore atomico che espone la superficie (001). Sono stati effettuati calcoli basati sulla teoria del funzionale della densità per valutare gli effetti strutturali ed elettronici dovuti al sale. Si è tenuto conto delle due possibili terminazioni della perovskite, MAI e PbI₂, e di due diversi stackings, nominati come S1 ed S2. L'interfaccia è stata ottimizzata a livello di teoria PBE-D3BJ e la struttura finale presenta una massiccia ricostruzione, soprattutto dello strato di sale, che assume una forma esagonale già osservata su un substrato di diamante. A partire dalle variazioni della funzione lavoro (WF), indotte dal sale, sono state ricavate le posizioni del massimo della banda di valenza e del minimo della banda di conduzione.</p> <p>Lo strato di NaCl fornisce un offset di banda ottimale (circa 0.2 eV) per entrambi gli stackings dei sistemi PbI₂ con alcuni trasportatori di lacune come (CuZnSn₂ -5.4 eV), Cu₂O (-5.38 eV), MoS₂ (-5.3 eV), che non si adattano bene con il livello della banda di valenza della MAPI. Nello stacking S1 di MAI, migliora l'offset di banda con il più utilizzato P3HT (-5.10 eV) e PEDOT:PSS (-5.10 eV). Per quanto riguarda i trasportatori di elettroni la variazione del lo stacking S2 del modello MAI ha un allineamento di banda adeguato con lo ZnO (-4.4 eV). Abbiamo simulato l'effetto di una vacanza di Iodio, con e senza il sale, e le energie di formazione di tale difetto mostrano un leggero effetto passivante del sale.</p>
<p>Università di Milano Bicocca - Scienza dei Materiali</p>	<p>Obiettivo di questo lavoro è la deposizione mediante la tecnica di deposizione ATOMIC LAYER DEPOSITION (ALD) di film sottili di ossidi metallici da utilizzare come estrattori di elettroni (Electron Transporting Layer - ETL) oppure come estrattori di buche (Hole Transporting Layer – HTL in celle silicio cristallino ad alta efficienza. La prima parte del lavoro ha riguardato la messa a punto di un protocollo per la deposizione dei film di TiO₂ con un reattore ALD (Picosun R200 Advanced) a pareti calde con sorgente plasma remota alimentata da Ar, O₂ ed N₂, load-lock per il caricamento dei campioni con la possibilità di caricare un wafer intero da 4", 6" o 8" e finestre per ellissometria in situ. I primi film sono stati depositati con un processo ALD termico basato sull'utilizzo del tetrakis(dimetilammino)titanio (TDMATi) come</p>

	<p>precursore e dell'acqua deionizzata in fase vapore come co-reagente. Il processo, generalmente condotto a 250°C, è stato studiato e riadattato per la deposizione a 175°C temperatura più compatibile per una deposizione su celle solari a silicio. Sono stati fatti diversi test per determinare sia la velocità di crescita che l'omogeneità del processo, effettuando deposizioni a 175°C e misurando gli spessori ottenuti tramite ellissometria in situ. I risultati indicano che la velocità di crescita del TiO₂ via ALD a 175°C è di 0.045 nm/ciclo. Per testare l'omogeneità, sono stati misurati gli spessori di TiO₂ su 7 substrati di c-Si distribuiti sul portacampioni da 4" di diametro in diversi punti. L'omogeneità del processo è risultata molto buona, con uno spessore medio del TiO₂ ed una deviazione standard rispettivamente di 13.60 nm e 0.12 nm.</p> <p>Prima di depositare sui substrati di SiO_x/c-Si forniti da ENEA, è stato effettuato un test di verifica per una deposizione di 66 cicli di TiO₂, corrispondenti allo spessore richiesto di 3.0 nm, su due quarti di wafer da 4". Anche in questo caso il processo è risultato in linea con i test precedenti, con uno spessore medio misurato su ciascuno dei due quarti di wafer di 3.03 nm ± 0.07 nm e 3.00 nm ± 0.04 nm.</p> <p>Sono stati quindi effettuate due deposizioni sui campioni di SiO_x/c-Si, variando il numero di cicli per ottenere gli spessori di TiO₂ richiesti, ossia una deposizione di TiO₂ da 66 cicli per uno spessore di circa 3 nm ed una deposizione di TiO₂ da 33 cicli per uno spessore da circa 1.5 nm. I campioni con le relative specifiche sono stati inviati all'ENEA per le caratterizzazioni elettriche.</p> <p>In questo semestre sono stati anche depositati dei film di IrO₂ con plasma (EtCpIrCHD + O₂/Ar plasma) sia mediante 300 cicli a 150°C per ottenere circa 5 nm di film che con 850 cicli ottenendo film di spessore pari a 20 nm. I film di IrO₂ non hanno però mostrato proprietà elettriche compatibili con un loro utilizzo in celle solari.</p>
<p>Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni</p>	<p>Il vetro ha un grande indice di rifrazione, una piccola aberrazione del colore, poco assorbimento UV e altre proprietà ottiche favorevoli. Tuttavia, sebbene il vetro sia un materiale preferito per dispositivi ottici, la fabbricazione di micro/nanostrutturazione su substrati di vetro è complicata e costosa. Al fine di ridurre i costi, qui si propone una tecnica a stampo, come la goffatura a caldo di micro/nanostrutture su vetro.</p> <p>Attualmente, lo stato dell'arte prevede l'uso di texture piramidali a base rettangolare, che aumentano le possibilità di intrappolamento dei fotoni all'interno della cella. Le piramidi sono formate da incisioni anisotrope sui wafer di silicio. Un vantaggio ottenuto mediante queste tecniche è sicuramente dato dalla riflessione verso il basso della luce incidente sui lati delle piramidi, che accresce le probabilità di intrappolamento. La maggior parte della luce viene intrappolata la prima volta che incide sulla struttura, nel caso in cui si utilizzi un wafer con orientazione cristallografica (100)</p> <p>Anche nel nostro processo il punto di partenza è una struttura texturizzata su substrato di silicio. L'obiettivo finale è quello di riportare tale texture sul vetro. Ciò avviene in due passaggi, il primo dei quali è la creazione di un substrato texturizzato su una lastra di Nickel.</p> <p>La lastra di nickel viene formata per elettrodeposizione sul substrato texturizzato di silicio e successivamente rilasciata.</p>

	<p>Il passo successivo è quello di applicare la tecnica dell'hot embossing tra lastra di nickel texturizzata e lastra di vetro non trattata. Il risultato è quello di riprodurre esattamente la morfologia della texture iniziale su silicio. La riuscita del processo è confermata analizzando il profilo di diffrazione di un fascio laser durante il passaggio attraverso il vetro, ora texturizzato. Il passaggio finale del processo di hot embossing prevede anche la tempra del vetro, operazione che tuttavia preserva la texture precedentemente ottenuta.</p>
<p>Università della Campania Vanvitelli - Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale</p>	<p>Le attività del primo semestre sono riconducibili all'obiettivo generale di "fornire indirizzi e criteri a supporto dei piani Paesaggistici e dei Piani Territoriali a valenza Paesaggistica per una localizzazione compatibile degli impianti agrivoltaici". Dopo un primo inquadramento del tema nella letteratura scientifica disponibile, è stata effettuata una ricognizione sullo stato della Pianificazione Paesaggistica in Italia al fine di individuare alcune regioni campione per una successiva fase di approfondimento. Tra le regioni dotate di Piani Paesaggistici di ultima generazione sono stati individuati tre casi di approfondimento anche in relazione alla geografia delle regioni italiane: Piemonte (nord), Toscana (centro) e Puglia (sud). Successivamente, sono stati approfonditi gli approcci adottati dai tre strumenti con riferimento ai paesaggi dell'agricoltura e delle energie rinnovabili, con un focus sui sistemi fotovoltaici. Per i paesaggi dell'agricoltura è possibile tracciare una linea di approccio comune che è volta alla tutela, all'innovazione sostenibile delle pratiche e all'incentivazione di processi di riattivazione di paesaggi agricoli in abbandono. Per i paesaggi delle energie rinnovabili, invece, il quadro risulta eterogeneo: vengono definiti criteri per le aree non idonee, indirizzi per l'integrazione paesaggistica, ma anche esplicitamente dichiarati obiettivi di disincentivazione alla realizzazione di impianti fotovoltaici in aree agricole.</p>
<p>Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Centro Museale "Musei delle Scienze Agrarie"</p>	<p>Nel primo semestre sono state pianificate le attività in accordo con la proposta progettuale ed è stato completato l'allestimento interno della serra con copertura fotovoltaica. In particolare, sono stati prodotti i disegni sperimentali per valutare: i) la produttività di specie ortive in sistemi protetti con copertura FV e ii) la compatibilità di produzioni arboree di pregio come piante micorizzate con funghi del genere Tuber (tartufi). Riguardo il primo punto, la sperimentazione prevede la suddivisione del numero totale di piante in due blocchi al fine di poter applicare trattamenti sperimentali e verificare gli andamenti di accrescimento delle colture ortive. In generale le plantule pre-geminate saranno trapiantate in vasi di 20 cm. La sperimentazione sarà effettuata su cassoni stagni con sistema di carico e scarico che permettono la fertirrigazione riducendo il rischio di fitopatologie. Riguardo le specie arboree micorrizzate, si vuole testare l'effetto delle condizioni ambientali in serra con e senza copertura fotovoltaica. Un totale di 100 plantule (di 6 mesi di età) è stato fornito da un'azienda vivaistica specializzata. Sono state selezionate 5 specie forestali: Corylus avellana var. Giffoni (Nocciolo), Quercus pubescens (Roverella), Carya illinoensis (Noce Pecan), Quercus ilex (Leccio) e Carpinus betulus (Carpino), una parte micorizzata con Tuber melanosporum (tartufo nero pregiato) ed un'altra con Tuber aestivum (tartufo nero scorzone). Il disegno sperimentale è risultato in un disegno fattoriale completo.</p>

