



**ENEA**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

## **DOSSIER**

### **FONTI RINNOVABILI**

**Competenze e infrastrutture ENEA**

*Ambiente  
Energie  
Innovazione*

Luglio 2010



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

## **DOSSIER**

### **FONTI RINNOVABILI**

#### **Competenze e infrastrutture ENEA**

**Luglio 2010**

**A cura di:**

**Giacobbe Braccio, Responsabile Unità Tecnica Tecnologie Trisaia**

**Mauro Vignolini, Responsabile Unità Tecnica Fonti Rinnovabili**

**Ezio Terzini, Responsabile Unità Tecnica Tecnologie Portici**

# INDICE

## SOLARE TERMODINAMICO

Laboratorio progettazione componenti e impianti	7
Impianto PCS per prove di funzionamento su componenti per impianti solari termodinamici	9
Impianto MOSE per prove di caratterizzazione chimico-fisica delle miscele di sali fusi	11
Laboratorio di ottica dei collettori solari	13
Laboratorio film ottici speciali	15
Laboratorio pubblico-privato Solare termodinamico ad alta temperatura ELIOSLAB	17

## SOLARE TERMICO

Laboratorio qualificazione componenti solari	21
--	----

## FOTOVOLTAICO

Laboratori celle solari in silicio cristallino	25
Laboratorio per le tecnologie dei film sottili	27
Unità standard PhoCUS-5 (Photovoltaic Concentrators to Utility Scale)	29
Laboratorio celle fotovoltaiche organiche	31
Servizio di qualificazione di moduli fotovoltaici	33
Servizio caratterizzazione siti e sviluppo di componenti e impianti	35

## BIOMASSE

Laboratorio tecnologie delle microalghe ALGATEC	39
Laboratorio fermentazioni IDROBIO	41
Laboratorio di ecologia microbica MICROBIO	43
Laboratorio colture agricole a scopo energetico	45
Impianto pilota di Steam Explosion	47
Piattaforma sperimentale di impianti per la gassificazione	49
Laboratorio di caratterizzazione delle biomasse e controllo processi	51
Laboratorio per il biodiesel	53
Laboratorio GIS indagini biomasse	55

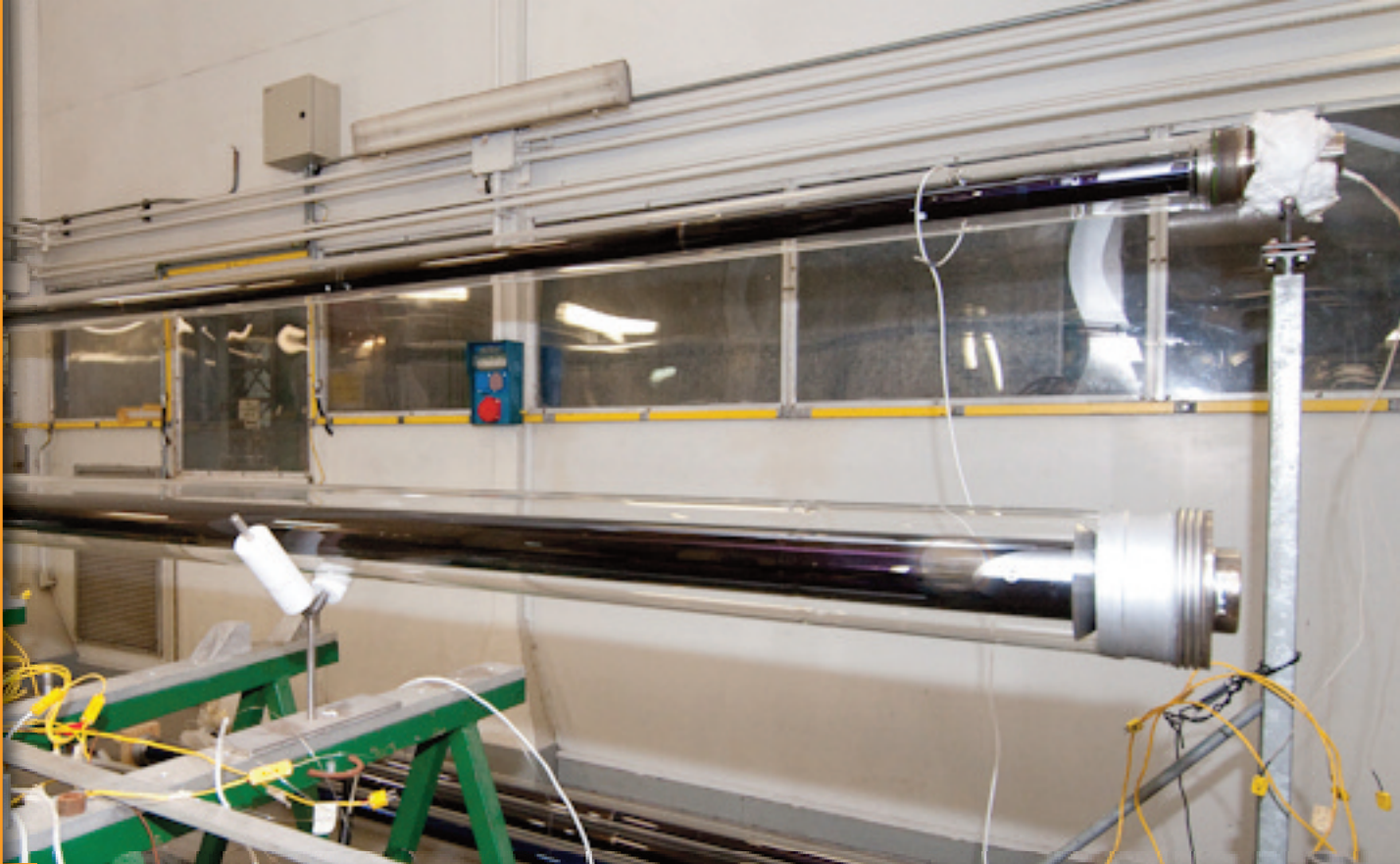
## VALUTAZIONI AMBIENTALI

Centro Studi per la valutazione della sostenibilità ambientale di piani, progetti e programmi territoriali per la produzione di energia da fonti rinnovabili	59
--	----



# SOLARE TERMODINAMICO





## Laboratorio progettazione componenti e impianti

Il Laboratorio progettazione componenti e impianti effettua studi teorico-numeriche e verifiche sperimentali finalizzati alla progettazione di componenti e sistemi nel settore delle fonti rinnovabili.

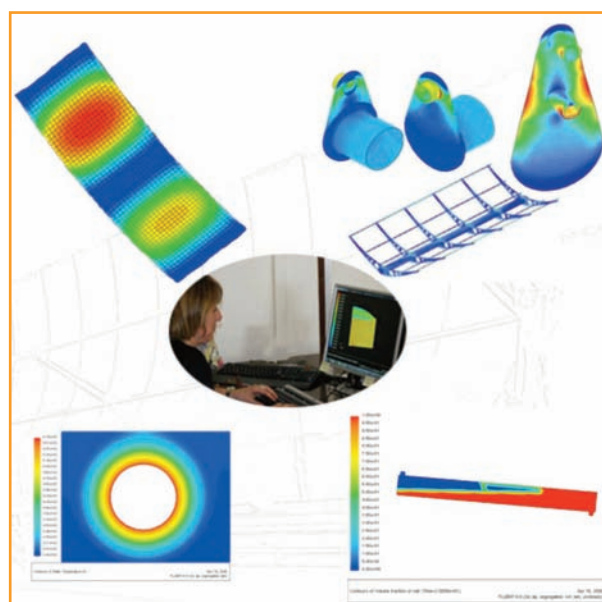
Potenziati utenti: il Laboratorio può fornire un importante supporto, sia in sede di progettazione che di qualificazione, ai soggetti industriali interessati alla produzione e all'utilizzazione di componenti innovativi per impianti solari termodinamici o altre tecnologie simili.

Le tecniche di calcolo numerico adottate si basano sugli elementi finiti per le analisi strutturali e sui volumi finiti per gli aspetti termofluidodinamici. Oltre ad utilizzare specifici codici commerciali (ANSYS, FLUENT, ABAQUS, ASPEN ecc.), il gruppo di progetto sviluppa software originale per analisi e valutazioni di sistema, studi di fattibilità tecnico-economica e controllo di processi.

L'infrastruttura sperimentale è utilizzata principalmente per attività quali la qualificazione di laboratorio di componenti critici (tubi ricevitori, collegamenti flessibili, giunti, sistemi ausiliari di riscaldamento elettrico ecc.) e le prove di fusione-solidificazione delle miscele di sali. Grazie alla possibilità di allestire rapidamente specifiche sezioni di prova, è possibile acquisire i dati necessari per calibrare e validare i codici di calcolo e per effettuare studi dettagliati di particolari componenti agli elementi finiti.

Foto in alto:  
vista del laboratorio

Esempi di analisi strutturale con il  
metodo FEM e di analisi  
termofluidodinamica ai volumi finiti



Presso il Laboratorio sono presenti diverse attrezzature originali realizzate su progetto ENEA, come ad esempio quelle per le prove di qualificazione termo-meccanica e ottica dei tubi ricevitori, per le prove di resistenza sotto carico dei collegamenti flessibili e per la caratterizzazione dei giunti sferici.

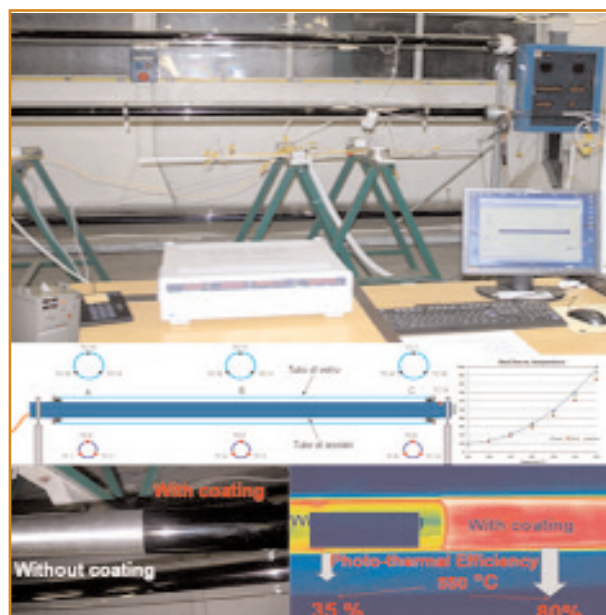
Nelle prove di qualificazione dei tubi ricevitori, questi componenti sono sottoposti a riscaldamento controllato per effetto di correnti elettriche (tecnica di riscaldamento a impedenza, messa a punto dall'ENEA). Le prove consentono di verificare le dispersioni termiche e la tenuta al vuoto dell'intercapedine e di evidenziare l'eventuale insorgenza di difetti meccanici (cricche, microlesioni ecc.) a seguito delle variazioni cicliche di temperatura.

Le prove di resistenza dei collegamenti flessibili e dei giunti consistono nel sottoporre questi elementi al movimento previsto nel loro funzionamento sull'impianto solare, con i corrispondenti cicli di temperatura e con la carica di sali fusi al loro interno.

Completano la dotazione dell'infrastruttura sperimentale i sistemi per l'acquisizione automatica dei dati e il sistema di supervisione e controllo da remoto, che consente di svolgere prove di lunga durata anche senza presidio.

Operativo dal 2002, il Laboratorio progettazione componenti e impianti si avvale di un team di ingegneri, chimici e tecnici specializzati di elevata esperienza, affiancati da ricercatori e specializzandi.

Prove di qualificazione di tubi ricevitori per impianti solari termodinamici



Qualificazione di componenti speciali (flessibili e giunti) per impianti solari termodinamici





## Impianto PCS per prove di funzionamento su componenti per impianti solari termodinamici

L'impianto PCS consente di effettuare test in condizioni reali di funzionamento e prove di qualificazione su componenti e sistemi di impianti solari termodinamici. Costituisce, pertanto, un supporto fondamentale per lo sviluppo e la progettazione di impianti solari basati sulla tecnologia dei collettori parabolici lineari con circuito a sali fusi.

Potenziali utenti: l'impianto può essere utilizzato da aziende italiane o estere per programmi di ricerca da svolgere in collaborazione con l'ENEA, oltre che per servizi di qualificazione, dimostrazione e formazione.

L'impianto PCS consente in particolare:

- prove di qualificazione dei componenti per la captazione dell'energia solare (collettori, tubi ricevitori, sistema automatico di puntamento ecc.) con possibilità di provare e qualificare collettori parabolici lunghi fino a 100 metri, alla massima temperatura operativa di 550 °C; l'impianto è predisposto per una seconda linea di collettori per altri 100 metri;
- prove di qualificazione dei componenti per il trasporto e l'accumulo dell'energia termica (circuito a sali fusi, serbatoio di accumulo, fusore, sistema ausiliario di riscaldamento ecc.);
- prove di funzionamento nelle diverse condizioni di esercizio, comprese fasi critiche ed anomalie (avviamento, fermata, transitori, emergenze ecc.);
- la messa a punto delle procedure di conduzione e addestramento degli operatori di impianto;
- lo sviluppo di nuove soluzioni impiantistiche mediante

Foto in alto:  
vista dell'impianto PCS

apposite sezioni di prova (generatore di vapore, valvole, strumentazione speciale ecc.).

L'impianto dispone di un sistema di supervisione e controllo di tipo industriale e di un sistema indipendente per l'acquisizione e l'archiviazione automatica dei dati di funzionamento, interfacciato con i sistemi di calcolo per le simulazioni matematiche e le analisi teoriche.

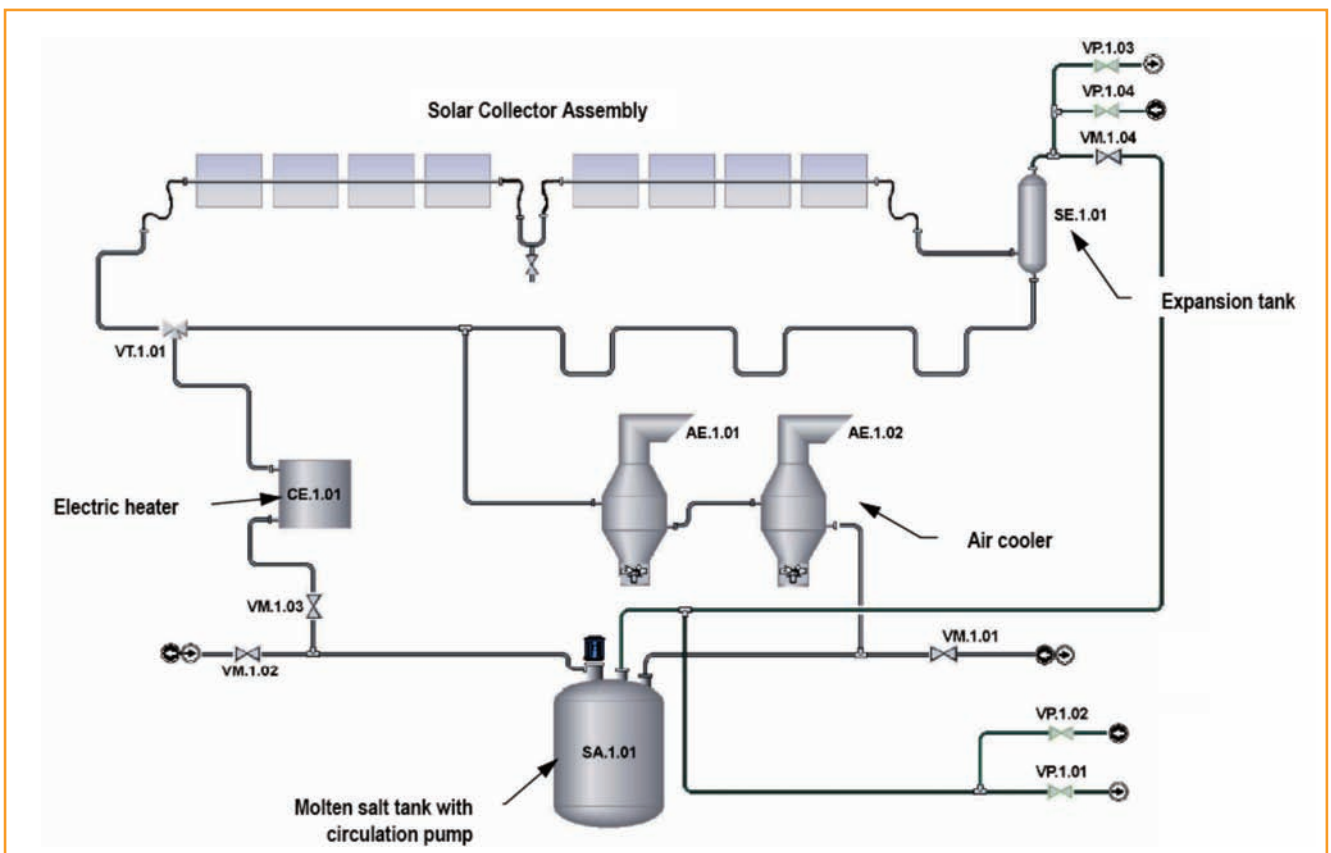
Interamente progettato dall'ENEA e operativo dal dicembre 2003, l'impianto PCS è stato utilizzato per lo sviluppo dei componenti innovativi e per la progettazione dell'impianto solare dimostrativo Archimede, realizzato dall'ENEL su tecnologia ENEA.

Attualmente viene utilizzato nell'ambito delle attività ENEA per i successivi sviluppi della tecnologia solare termodinamica attraverso l'ottimizzazione dei componenti e lo sviluppo di applicazioni di tipo cogenerativo e ibrido.

È inserito in un network internazionale attraverso il progetto SFERA (Solar Facilities for the European Research Area) per l'utilizzazione congiunta da parte di altre organizzazioni di ricerca.

Viene esercitato da uno staff tecnico altamente qualificato, costituito da operatori specializzati di impianto, tecnici di manutenzione e ricercatori.

Schema dell'impianto PCS





## Impianto MOSE per prove di caratterizzazione chimico-fisica delle miscele di sali fusi

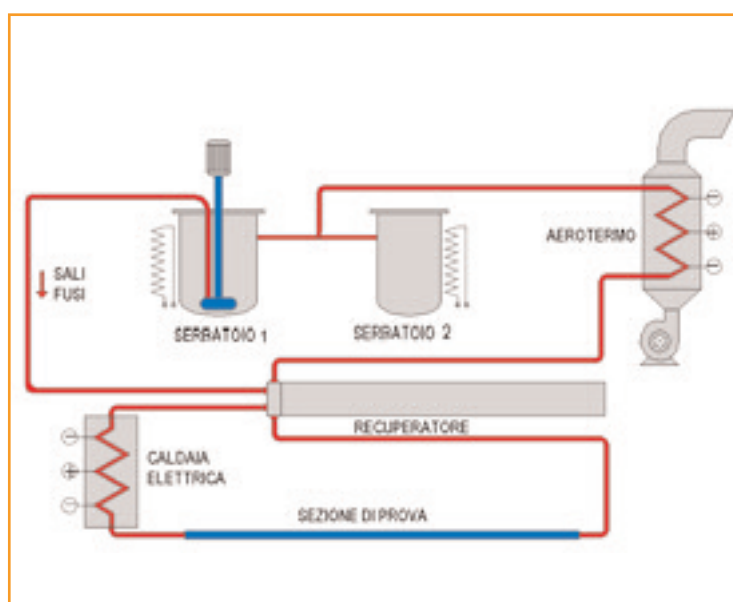
L'impianto MOSE (Molten Salt Experiences) consente di eseguire prove di resistenza alla corrosione dinamica sui materiali strutturali esposti all'azione di sali fusi ad alta temperatura, con variazioni cicliche e su lunga durata, a supporto delle attività di sviluppo e di progettazione di impianti solari termodinamici a sali fusi. Mediante questo impianto si possono selezionare e qualificare materiali metallici idonei, nonché testare elementi di giunzione, saldature, accoppiamenti tra materiali diversi, elementi di tenuta e strumentazione di linea.

Foto in alto:  
vista dell'impianto MOSE

L'impianto MOSE può trovare applicazione in attività di ricerca e di verifica sperimentale di processi industriali basati su sali fusi, come ad esempio trattamenti metallurgici, recupero di materiali e processi di depurazione.

L'impianto può inoltre costituire un importante supporto per ricerche su tecniche avanzate di trasporto del calore, per esempio in campo nucleare e per il recupero e l'accumulo di energia termica ad alta temperatura in campo industriale. Mediante questo impianto, ad esempio, si possono agevolmente verificare coefficienti di scambio termico e testare il comportamento meccanico di dispositivi sottoposti all'azione di sali fusi con variazioni cicliche e prolungate di temperatura.

Schema dell'impianto MOSE



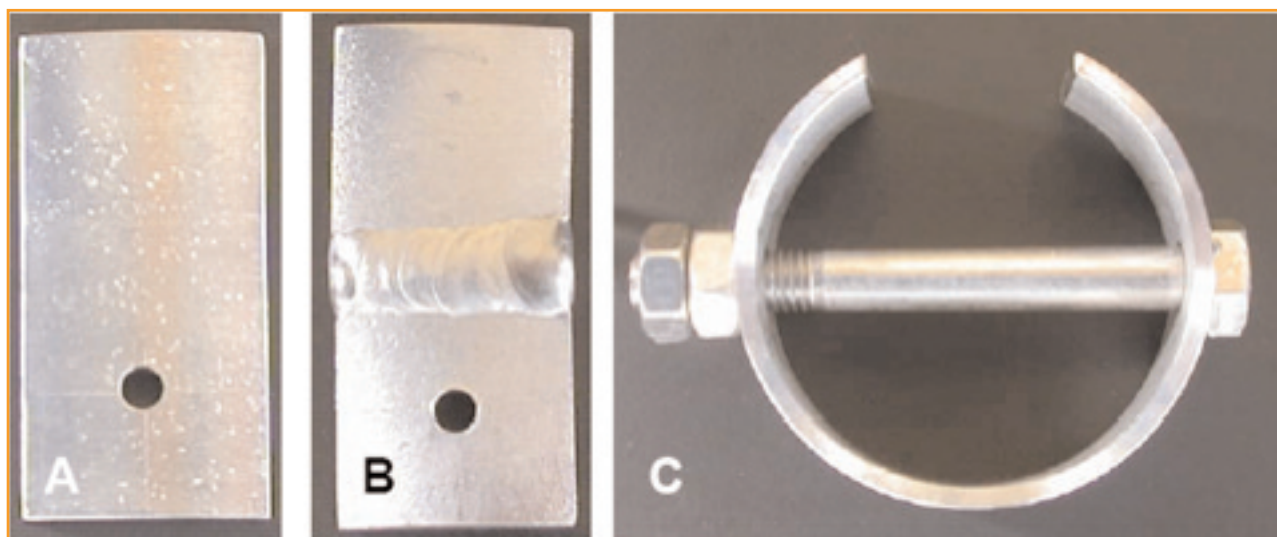
L'impianto MOSE è costituito da un circuito di prova che riproduce su scala ridotta il circuito di raccolta del calore degli impianti solari termodinamici a sali fusi. La miscela di sali viene fusa mediante riscaldamento elettrico e fatta circolare attraverso una sezione di prova in cui sono inseriti gli elementi da sottoporre a test, in forma di piastre rettangolari di 2-3 cm di lato. La portata di sali fusi può variare fino a 1,3 kg/s, la temperatura fino a 550 °C e la pressione fino a 4 bar.

Il circuito comprende una caldaia elettrica, uno scambiatore-recuperatore e uno scambiatore-aerotermeo per mantenere la temperatura richiesta per le prove. L'impianto è provvisto di sistema automatico di supervisione e controllo e può operare senza presidio a tempo indeterminato, con acquisizione e archiviazione automatica dei dati di funzionamento, per eseguire successivamente le elaborazioni richieste.

Interamente progettato dall'ENEA con diverse soluzioni di tipo originale e operativo dal 2003, l'impianto MOSE è utilizzato attualmente per verificare l'idoneità degli acciai inossidabili AISI 321 H e AISI 316 T per l'impianto solare Archimede (realizzato dall'ENEL su tecnologia ENEA). Sono state eseguite prove fino a 8000 ore di funzionamento continuo, con cicli giornalieri di riscaldamento e raffreddamento, che hanno consentito di verificare l'idoneità degli acciai adottati e delle relative procedure di saldatura.

L'impianto viene utilizzato anche per programmi di ricerca sui miglioramenti della tecnologia solare termodinamica, come ad esempio prove su materiali metallici meno costosi e studi sul comportamento termo-fluidodinamico di diverse miscele di sali fusi.

Provini per l'impianto MOSE: A – Piastra omogenea; B- Piastra saldata; C – Piastra sottoposta a flessione





## Laboratorio di ottica dei collettori solari

Il Laboratorio di ottica dei collettori solari svolge un servizio di caratterizzazione e controllo di qualità dei concentratori solari attraverso metodi innovativi e con strumenti originali sviluppati dall'ENEA: il Profilometro ottico e il Sistema di ispezione visiva.

Potenziati utenti: il Laboratorio offre, a produttori e utilizzatori di collettori parabolici lineari, servizi di caratterizzazione e qualifica dei pannelli riflettenti nonché consulenze per l'installazione e l'utilizzo negli stabilimenti di produzione delle attrezzature per i controlli di qualità.

La tecnologia del Profilometro ottico è stata ampiamente applicata ai pannelli riflettenti dell'impianto Archimede. Attualmente è in fase di ultimazione lo sviluppo di due nuovi strumenti per il controllo dell'allineamento del campo specchi.

Il primo strumento, denominato Visual Inspection System Field, sviluppato con l'azienda Marposs, consente di verificare il mutuo allineamento ricevitore-parabola attraverso un particolare sistema di ripresa video e di analisi delle immagini. Lo strumento sarà utilizzato per le necessarie verifiche sull'impianto Archimede e verrà poi commercializzato.

Il secondo strumento, complementare al primo, prevede l'ispezione aerea del campo specchi, mediante velivolo senza pilota, con telecamera e termo camera a bordo al fine di controllare, oltre al mutuo allineamento ricevitore-parabola, anche la tenuta del vuoto dei tubi ricevitori e svolgere verifiche

Foto in alto:  
vista del laboratorio

Profilometro ottico



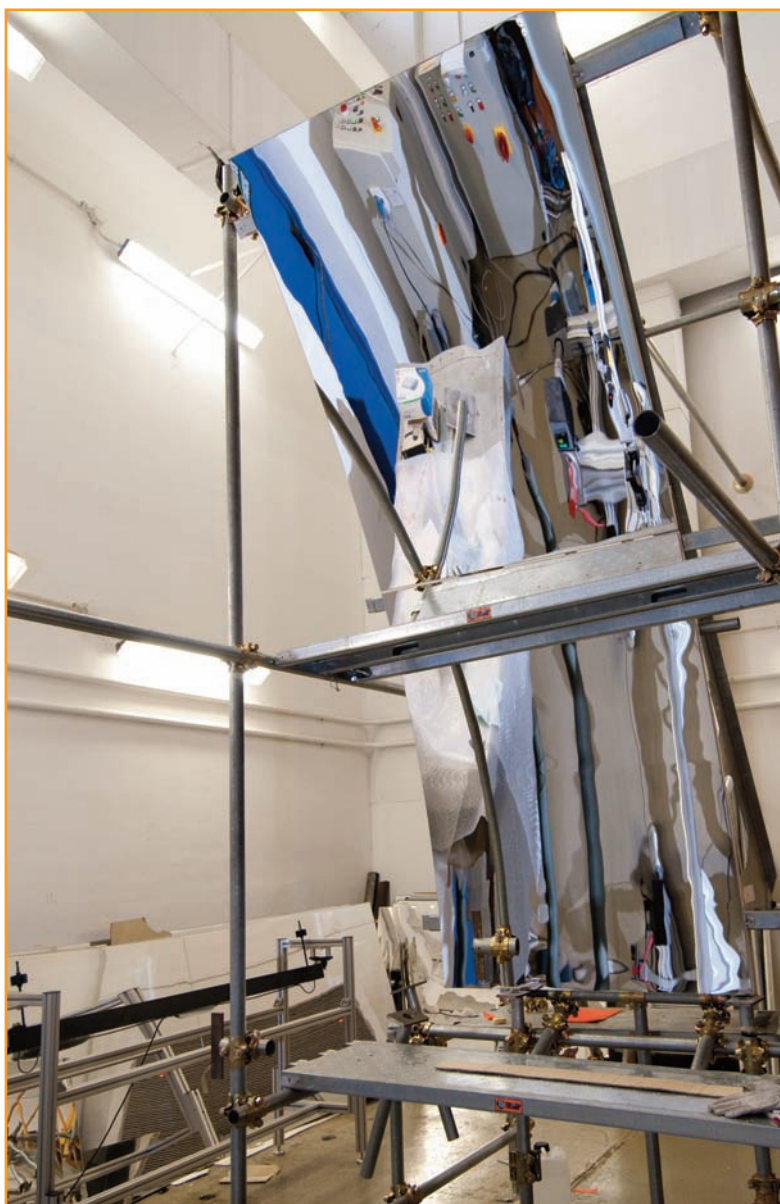
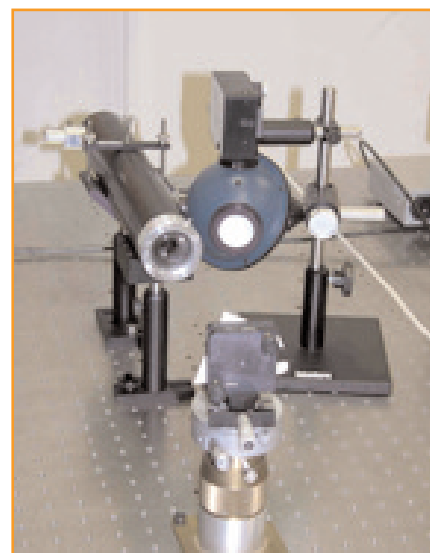
di routine nel corso della vita dell'impianto con costi molto limitati rispetto ai sistemi a terra. Il sistema è sviluppato in collaborazione con l'azienda Elettronica Giani, che cura la parte aeronautica, mentre l'ENEA sviluppa il software di analisi e le procedure di gestione delle riprese. Anche questo sistema, dopo l'applicazione prototipale sull'impianto Archimede, è destinato alla commercializzazione.

Ulteriori sviluppi riguardano la realizzazione di un profilometro ottico veloce, ancora in collaborazione con la Marposs, per la qualifica di singoli pannelli riflettenti.

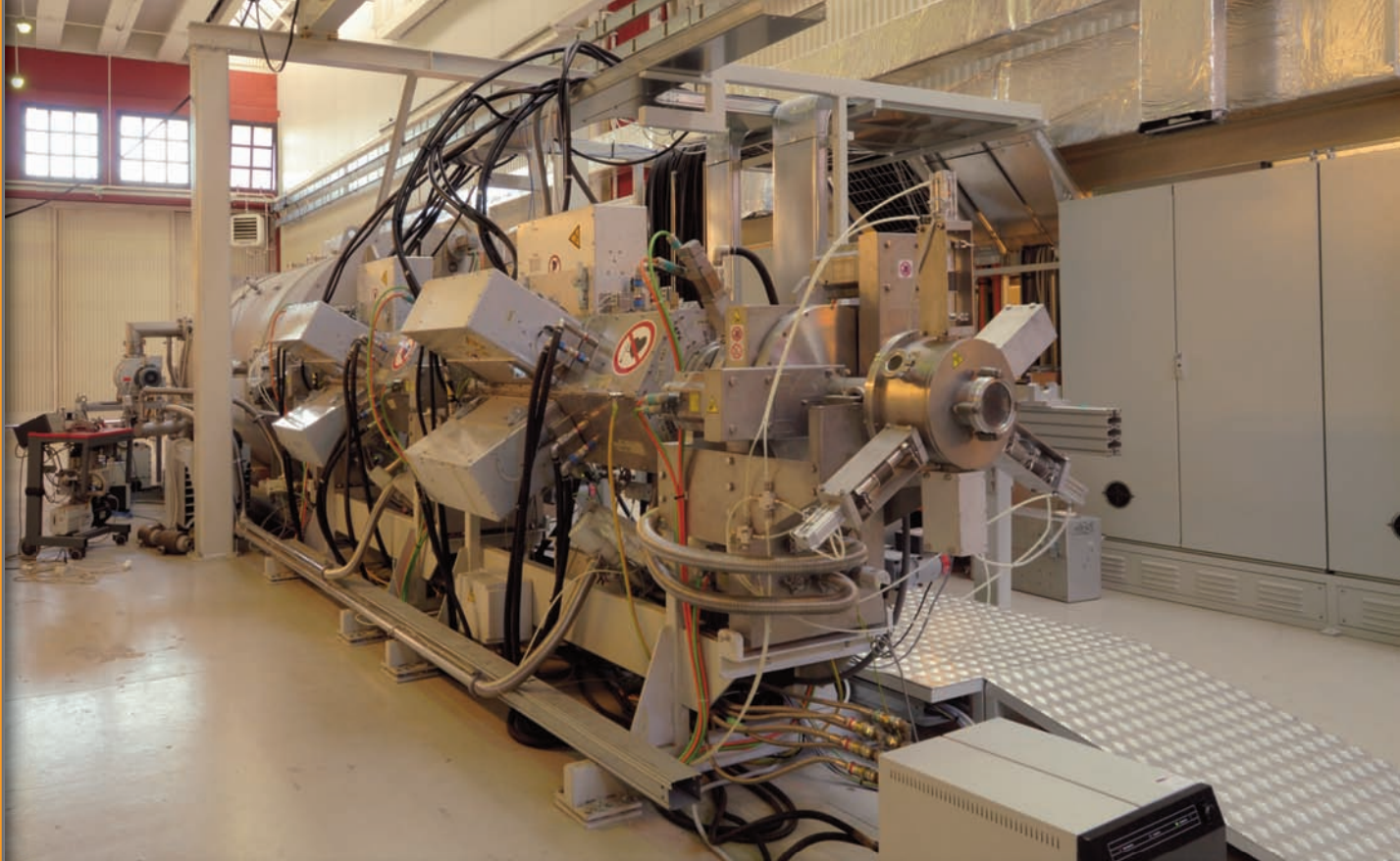
La caratterizzazione ottica accurata dei pannelli riflettenti consente di migliorare significativamente le prestazioni dell'impianto solare: il lavoro svolto dal laboratorio di ottica dell'ENEA ha consentito alla Ronda High Tech di adottare un vetro innovativo in grado di innalzare la riflettanza solare dello specchio dal 93,4% al 96,1%.

Le attrezzature del Laboratorio consentono anche di caratterizzare le proprietà antiriflesso del vetro del tubo ricevitore, al fine di ottimizzarne il trattamento.

Sistema di ispezione visiva e Riflettometro



Pannelli riflettenti per collettori parabolici lineari



## Laboratorio film ottici speciali

Il Laboratorio film ottici speciali svolge attività di ricerca e di trasferimento tecnologico nel settore dei rivestimenti solari selettivi per tubi ricevitori di impianti solari termodinamici ad alta temperatura, e opera nello sviluppo e progettazione preliminare di processi e impianti di sputtering per la produzione industriale di tubi ricevitori con rivestimento solare selettivo.

Le principali attività del Laboratorio sono:

- ideazione e realizzazione mediante tecnica di sputtering in vuoto di rivestimenti solari selettivi a base di film sottili del tipo CERMET;
- ideazione e messa a punto di processi tecnologici innovativi per la realizzazione di rivestimenti solari a base di film sottili;
- caratterizzazione termo-ottica di rivestimenti solari selettivi con valutazione dell'assorbanza solare e della emissività emisferica;
- test di stabilità termo-meccanica e chimico-strutturale ad alta temperatura, in vuoto ed in aria, di rivestimenti solari selettivi;
- ideazione e progettazione preliminare di innovativi impianti di sputtering da laboratorio e da produzione per la fabbricazione di rivestimenti solari selettivi su substrati tubolari.

Tra i risultati di rilievo si citano:

- Tre brevetti su tre differenti rivestimenti solari selettivi per impiego a media-alta temperatura.
- Progettazione, realizzazione e successiva vendita alla società Archimede Solar Energy (ASE, gruppo Angelantoni Industrie) dell'impianto pilota industriale di sputtering

Foto in alto:  
impianto HORSIA I

HORSA I (HORizontal Sputtering Apparatus), per deposizione di film sottili di ossidi, metalli e materiali compositi su substrati di forma cilindrica di lunghezza 4 m e diametro 70 mm con tecniche DC and RF magnetron sputtering deposition. Con questo impianto sono stati prodotti i 1500 tubi ricevitori dell'Impianto Solare Termodinamico dell'ENEL presso Priolo Gargallo, operante con la tecnologia a sali fusi ad alta temperatura (550 °C). Attualmente l'ASE produce tubi ricevitori per alta temperatura sotto licenza ENEA.

- Progettazione e realizzazione di un impianto di sputtering da laboratorio per la fabbricazione di rivestimenti solari selettivi su tubi di acciaio lunghi 0,6 metri mediante processi ad alta velocità di deposizione (brevetto ENEA).

Inoltre è stato fornito supporto scientifico-tecnologico alla società ASE per lo sviluppo e la realizzazione di un impianto industriale che, a partire dal 2011, fabbricherà 70.000 tubi ricevitori all'anno sotto licenza ENEA.



Impianto HORSA II

Il Laboratorio è dotato di:

Impianto di sputtering verticale MRC (Material Research Corporation) per la deposizione di film sottili di ossidi, metalli e materiali compositi su substrati piani di dimensioni fino a 900 cm<sup>2</sup> con le tecniche DC, RF e DC bipolare pulsato del tipo magnetron. L'impianto può operare in modalità co-sputtering, utile a fabbricare materiali compositi del tipo CERMET.

Impianto di sputtering HORSA II (HORizontal Sputtering Apparatus) per la fabbricazione di rivestimenti solari selettivi su tubi di acciaio lunghi 0,6 metri mediante processi ad alta velocità di deposizione, particolarmente adatto alla sperimentazione di processi di co-sputtering in regime reattivo.

Laboratorio ottico per la caratterizzazione dei film sottili mediante: Spettrofotometro UV-VIS-NIR mod. LAMBDA 900 della Perkin Elmer per misure di riflettanza e trasmittanza globale, speculare e diffusa nell'intervallo 0,2–2,5 µm; Spettrofotometro UV-VIS-NIR mod. LAMBDA 950 della Perkin Elmer per misure di riflettanza e trasmittanza speculare ad angolo variabile nell'intervallo 0,2–2,5 µm; Ellissometro Jobin Yvon mod. UVISEL per misure dei parametri ottici (n e k) nell'intervallo 0,2–1,7 µm. L'utilizzo di queste apparecchiature consente anche di valutare, attraverso un programma di calcolo, l'assorbanza solare.

Apparecchiatura per misure di emissività, basata su spettrofotometro FTIR della Bruker accoppiato ad una sfera integratrice e con ulteriore implementazione originale (brevetto ENEA) per la misura dello spettro di riflettanza globale nell'intervallo 1,5-20 µm. Per un rivestimento solare selettivo, la misura dell'emissività è una significativa valutazione dell'entità della dispersione termica per re-irraggiamento di un ricevitore solare che opera in temperatura sotto vuoto.

Forno a muffola KS-80-S della LINN per cicli ad alta temperatura (1000 °C, velocità massima di riscaldamento pari a 5 °C/min) in vuoto ( $5 \cdot 10^{-5}$  mbar) al fine di valutare sia la stabilità termo-meccanica sia quella chimico-fisica dei rivestimenti solari selettivi.



Prototipo di tubo ricevitore







## Laboratorio pubblico-privato Solare termodinamico ad alta temperatura ELIOSLAB

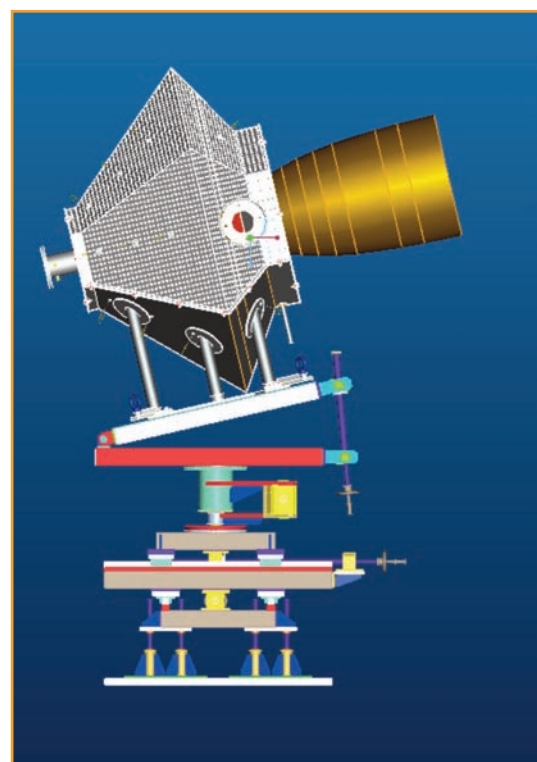
Il Laboratorio ELIOSLAB ha l'obiettivo di sviluppare componenti, tecnologie e sistemi per la captazione dell'energia solare e per il suo utilizzo con elevati fattori di concentrazione, sotto forma di calore ad alta temperatura ( $> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Del Laboratorio fanno parte l'ENEA, l'Università Federico II di Napoli, la II Università di Napoli, la Angelantoni Industrie, e il CRIS (Consorzio Ricerche Innovative per il Sud, Ansaldo).

Le attività di ricerca e sviluppo del Laboratorio ELIOSLAB riguardano:

- Sviluppo di materiali e substrati innovativi per la realizzazione di superfici riflettenti piane e a doppia curvatura atte all'impiego in impianti solari termici a concentrazione, in particolare:
  - realizzazione di specchi con elemento riflettente metallico (Ag, Al) depositato via sputtering in film sottile su vari tipi di substrato (vetro, metallo, polimero);
  - realizzazione di coating protettivi a film sottile a singolo strato via sputtering e PECVD (Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition);
  - progettazione e realizzazione di coating multistrato protettivi ed antiriflesso.
- Sviluppo di metodologie e apparecchiature per la caratterizzazione ottica e geometrica di specchi e la caratterizzazione di fasci di luce solare ad elevata concentrazione, in particolare riguardo:
  - misure di riflettanza speculare al variare della lunghezza d'onda e dell'angolo di incidenza della luce;

Foto in alto:  
impianto di sputtering

Progetto di ricevitore solare  
ad alta temperatura



- strumenti in grado di ricostruire il profilo di superfici riflettenti mediante analisi di tipo meccanico e ottico;
- test per valutare il degrado degli specchi sotto l'azione di agenti atmosferici chimici e meccanici;
- misure del profilo spaziale di intensità della radiazione solare.

- Sviluppo progettuale e tecnologico di un impianto solare ad alta concentrazione (fornace solare) per alimentare processi sperimentali ad alta temperatura, in particolare:

- progettazione e sviluppo dei componenti dell'impianto quali eliostato piano, concentratore primario, secondario e ricevitore; tale facility consente di produrre calore ad alta temperatura da utilizzare in cicli termochimici utili alla produzione di  $H_2$  oppure in cicli termodinamici per la produzione di energia elettrica;
- progettazione e realizzazione del circuito relativo al fluido termovettore e dei relativi componenti sottoposti ad elevati stress termo meccanici (isolamenti, guarnizioni, valvole ecc.).

- Sviluppo di metodologie relative alla progettazione di ricevitori ad alta temperatura ( $> 800\text{ }^\circ\text{C}$ ); progettazione, realizzazione e sperimentazione di un dimostratore di ricevitore, in particolare:

- modellistica termofluidodinamica e strutturale dell'elemento ricevente atto alla conversione dell'energia solare in energia termica da trasmettere al fluido;
- progettazione esecutiva, realizzazione e test del ricevitore termico per la fornace solare.

- Sviluppo di metodologie relative alla progettazione di sistemi di accumulo per calore ad alta temperatura ( $> 800\text{ }^\circ\text{C}$ ) basati sui materiali refrattari solidi, in particolare:

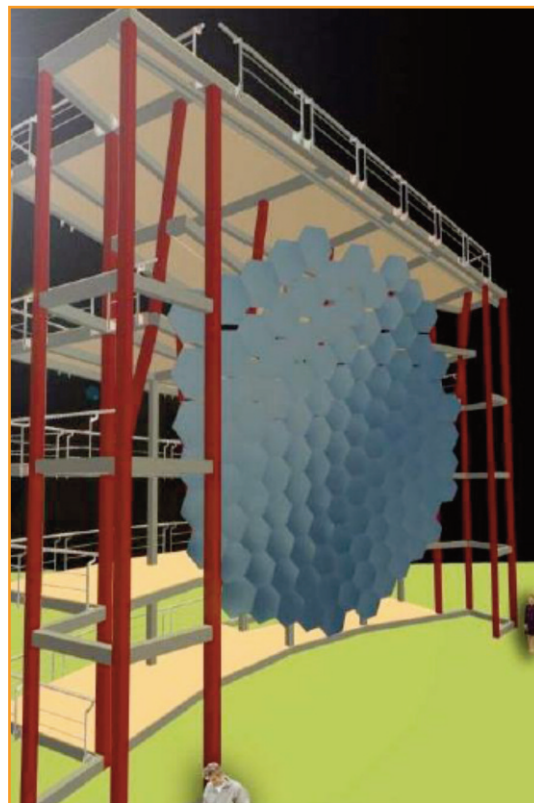
- modellistica termofluidodinamica e strutturale del sistema di accumulo di calore ad alta temperatura: scelta dei materiali per la costruzione del recipiente e del suo isolamento e per l'accumulo dell'energia termica;
- progettazione esecutiva, realizzazione e test del sistema di accumulo per la fornace solare.

Per lo sviluppo e caratterizzazione ottica di specchi basati su elementi riflettenti metallici sono in dotazione:

- impianto di deposizione DC/RF sputtering a 3 catodi per la deposizione su substrati da  $900\text{ cm}^2$  di film sottili metallici, ossidi e nitruri trasparenti in varie configurazioni elettroniche;
- impianto di deposizione a tecnologia PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) su substrati da  $900\text{ cm}^2$  di film sottili di ossido e nitruro di silicio;
- spettrofotometri UV/VIS/NIR ad angolo di incidenza della radiazione sia fisso che variabile;
- Elissometro per la determinazione delle costanti ottiche (indice di rifrazione e coefficiente di estinzione) e dello spessore dei film depositati;
- profilometro meccanico per la determinazione degli spessori di deposizione;
- spettrofotometro FT-IR per indagini strutturali mediante risposta dei film alla radiazione infrarossa;
- spettroscopia di tipo "Raman" per la valutazione delle fasi cristalline dei materiali;
- profilometro ottico per specchi di grosse dimensioni (in fase di costruzione);
- profilometro meccanico per specchi di grosse dimensioni (in fase di costruzione).

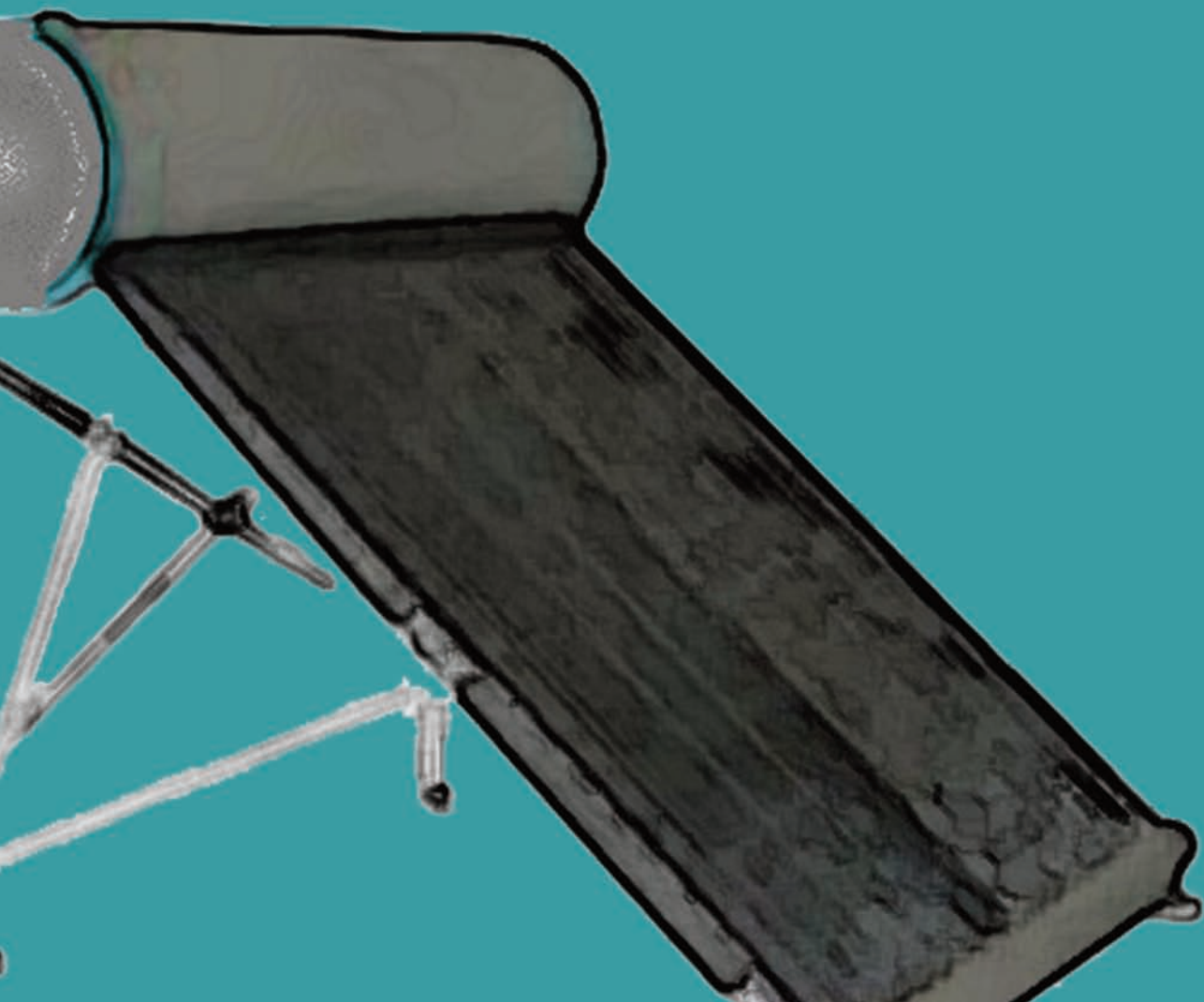
Inoltre sono disponibili i seguenti software applicativi:

- Macleod per la modellazione ottica di strutture complesse quali ad esempio specchi con coating multistrato e multifunzione;
- Trace-Pro per la modellazione geometrica di componenti ottici (superfici riflettenti e lenti) atte alla concentrazione della radiazione solare.





SOLARE TERMICO







## Laboratorio qualificazione componenti solari

Il Laboratorio qualificazione componenti solari svolge attività di ricerca e sviluppo nel settore delle tecnologie del solare termico a bassa e media temperatura, offrendo anche un servizio di qualificazione di componenti e sistemi in grado di determinare le prestazioni termiche, l'affidabilità e la durabilità di collettori commerciali o prototipali sia piani che a concentrazione.

Principali utenti: industrie italiane ed estere operanti nel settore, pubblica amministrazione, università e istituti di ricerca.

Il Laboratorio svolge attività di ricerca nel settore delle applicazioni del solare termico a bassa e media temperatura, attraverso il supporto tecnico-scientifico allo sviluppo di prototipi piani o a concentrazione (sistemi CPC, sistemi parabolici lineari e puntuali, sistemi a lenti di Fresnel), destinati alla produzione di calore sia per alimentare processi termici per applicazioni civili ed industriali, sia da utilizzare nella realizzazione di sistemi innovativi di climatizzazione elio-assistita mediante l'accoppiamento a macchine termiche a ciclo chiuso (chiller ad assorbimento) o a ciclo aperto (sistemi DEC utilizzanti essiccanti solidi o liquidi).

In particolare le attività riguardano:

- l'analisi e l'ottimizzazione energetica dei sistemi solari a bassa e media temperatura;
- lo sviluppo di modelli termo-fluidodinamici ed ottici per l'analisi e l'ottimizzazione energetica di collettori solari destinati ad applicazioni a media temperatura;

Foto in alto:  
vista di collettori solari in prova

- la valutazione ed ottimizzazione tecnico-economica di impianti di solar-cooling;
- la caratterizzazione energetica di collettori a concentrazione per applicazioni a media temperatura attraverso l'utilizzo di facility sperimentali in grado di analizzare dal punto di vista termico tali componenti con temperatura di lavoro sino a 300 °C.



Il Laboratorio, accreditato ACCREDIA (n° 0473) dal 2002, è attrezzato per eseguire tutte le prove previste dalla normativa europea ed internazionale di settore, sia per quanto attiene i test su collettori solari (EN 12975-2 ed ISO 9806) sia per quanto riguarda i sistemi solari per la produzione di acqua calda sanitaria (EN 12976-2 ed ISO 9459-2).

Per la caratterizzazione energetica e la qualificazione dei componenti e sistemi solari, il Laboratorio è in grado di eseguire i seguenti test:

- per i collettori:
  - determinazione della curva di efficienza in stato stazionario e caratterizzazione energetica in condizioni transitorie;
  - valutazione delle perdite di carico;
  - determinazione della costante di tempo e della capacità termica;
  - determinazione dell'IAM (modificatore dell'angolo di incidenza);
  - verifica della resistenza del componente a condizioni anomale di funzionamento (resistenza alle sovrappressioni e agli shock termici sia interni che esterni);
  - verifica della resistenza agli agenti atmosferici (pioggia, neve, vento e grandine);
  - prove di invecchiamento accelerato attraverso l'esposizione del componente, per un periodo di tempo prolungato, alla radiazione solare in condizioni di stagnazione a secco.
- per i sistemi:
  - valutazione sperimentale delle prestazioni giornaliere e stima (tramite opportuni algoritmi di simulazione) di quelle annue per diversi siti europei e nazionali;
  - verifica dei requisiti di sicurezza, affidabilità e durabilità previsti dalla normativa tecnica di riferimento.

Il Laboratorio di qualificazione dei componenti solari partecipa anche alle attività normative di settore sia a livello nazionale sia a livello internazionale. A livello nazionale, coordina il GL 901 del Comitato Termotecnico Italiano (CTI) che si occupa della messa a punto della normativa tecnica nazionale nel settore del solare termico; a livello europeo è membro ufficiale del CEN/TC 312 che si occupa della definizione della normativa tecnica per la caratterizzazione di componenti solari termici.



# FOTOVOLTAICO









## Laboratori celle solari in silicio cristallino

Nei Laboratori celle solari in silicio cristallino vengono sviluppati sia processi innovativi per la produzione di celle convenzionali, al fine di contribuire allo sviluppo delle industrie italiane di settore, sia processi di produzione di celle per moduli a concentrazione.

Potenziati utenti: industrie italiane di settore.

Nei Laboratori del Centro Ricerche Casaccia vengono sviluppati processi innovativi quali:

- processi basati su screen printing ad alta risoluzione;
- processi di deposizione a bassa temperatura di film di passivazione basati su materiali di nuovo tipo (es.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
- processi in plasma per il miglioramento del confinamento ottico tramite la riduzione della riflettività frontale e l'aumento di quella posteriore tramite l'uso di specchi del tipo DBR (Dielectric Bragg Reflector);
- realizzazione di celle con processi a bassa temperatura (eterogiunzioni) e con entrambi i contatti (interdigitati) sul retro;
- realizzazione a bassa temperatura di contatti ohmici tramite processi laser localizzati;
- tecniche di caratterizzazione per il controllo della qualità dei processi industriali.

Tra i risultati di risultati di rilievo si citano:

- la messa a punto su scala industriale di celle a contatti sepolti realizzati via laser e serigrafia ad alta risoluzione con efficienza del 17% su silicio multicristallino e del 18% su silicio monocristallino;

Foto in alto:  
particolare di forno a tubi per lo sviluppo di processi di drogaggio per diffusione ad alta temperatura

Laboratorio per lo sviluppo dei contatti elettrici di celle solari in silicio cristallino con sistema di screen printing e forni per essiccare e sinterizzare le paste serigrafiche conduttive



- il brevetto della cella back contact ad eterogiunzione BEHIND.

I Laboratori della Casaccia sono dotati di:

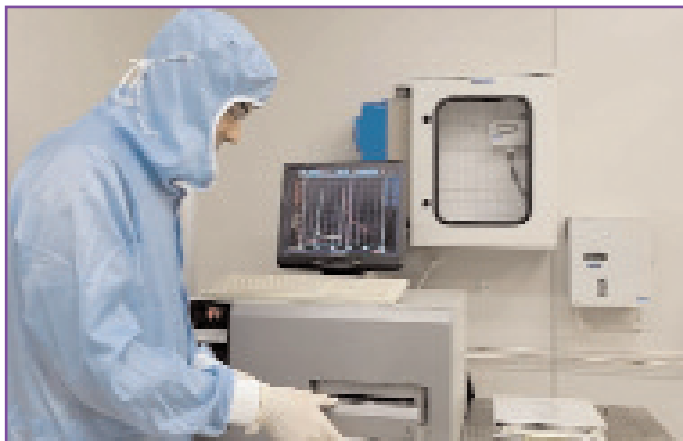
- "linea pilota" di serigrafia e dicing per la realizzazione di celle di tipo commerciale;
- forno a tubo da 8" per lo sviluppo di processi di drogaggio per diffusione ad alta temperatura del silicio con fosforo o boro e di processi di ossidazione termica passivanti;
- PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) per la deposizione di strati di nitrato di silicio passivanti e antiriflesso per scarica in plasma;
- clean room per processi tipici della microelettronica, come fotolitografia dei contatti metallici e deposizione sottovuoto di metalli e ossidi, cappe per trattamenti chimici, sistemi da vuoto per deposizioni di metalli e film antiriflesso tramite sputtering ed evaporazione e-beam;
- sistemi di caratterizzazione per dispositivi e materiali tra cui il Silicon-Wafer Lifetime Tester WCT-100 (Sinton);
- Strumentazione per la caratterizzazione delle celle solari (IV al buio e sotto illuminazione standard AM1.5 classe A e misure di risposta spettrale);
- dispositivi per microscopia ottica ed elettronica.

Nei Laboratori del Centro Ricerche Portici vengono sviluppati processi di produzione per celle solari da utilizzare in moduli a concentrazione.

I Laboratori sono dotati di:

- forno a tubo da 6" per lo sviluppo di processi di drogaggio per diffusione ad alta temperatura del silicio con fosforo o boro e di processi di ossidazione termica passivanti;
- PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) per la deposizione di strati di nitrato di silicio passivanti e antiriflesso per scarica in plasma;
- clean room per processi tipici della microelettronica, come fotolitografia dei contatti metallici e deposizione sottovuoto di metalli e ossidi, cappe per trattamenti chimici, sistemi da vuoto per deposizioni di metalli e film antiriflesso tramite sputtering ed evaporazione e-beam;
- sistemi di caratterizzazione per dispositivi e materiali tra cui il Silicon-Wafer Lifetime Tester WCT-100 (Sinton);
- dispositivi per microscopia ottica ed elettronica;
- RTP (rapid thermal processing);
- strumentazione per la caratterizzazione delle celle solari (IV al buio e sotto illuminazione standard AM1.5 classe A e misure di risposta spettrale).

Processi di passivazione superficiale di celle solari via Rapid Thermal Annealing



Tra i risultati di risultati di rilievo si citano:

- cella da 0,64 cm<sup>2</sup>, efficienza 22% a 100 soli
- cella da 1,21 cm<sup>2</sup>, efficienza 20% a 200 soli.

Referenti

Alberto Mittiga, Mario Tucci,  
Carlo Privato  
alberto.mittiga@enea.it  
mario.tucci@enea.it  
carlo.privato@enea.it



## Laboratorio per le tecnologie dei film sottili

Il Laboratorio per le tecnologie dei film sottili svolge attività di ricerca e sviluppo nel settore dei film sottili di materiali semiconduttori, dielettrici e metallici, realizzati anche su substrati di basso costo.

In particolare le attività riguardano:

- lo sviluppo di processi e tecnologie di lavorazione di materiali a film sottile e loro caratterizzazione dal punto di vista morfologico, strutturale, composizionale, elettrico ed opto-elettronico;
- lo sviluppo di celle fotovoltaiche innovative basate su multigiunzioni a film sottili di silicio amorfo e microcristallino e sue leghe depositati su vetro, con strutture per l'intrappolamento della luce solare incluso i riflettori posteriori e intermedi, elettrodi trasparenti e conduttivi ottimizzati e strati antiriflesso;
- processi a bassa temperatura per l'impiego di substrati polimerici a basso costo;
- sviluppo di materiali assorbitori inorganici a base di quantum dot di silicio;
- la realizzazione di moduli prototipali su vetro.

Il Laboratorio è dotato di:

- impianti UHV per la sintesi da fase gassosa di film sottili semiconduttori amorfi e policristallini, di nitruri e per il dry etching di semiconduttori e isolanti con tecniche RF-PECVD (Radio Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition), Very High Frequency PECVD, Hot Wire CVD, Low Pressure CVD e RIE (Reactive Ion Etching);
- DC/RF Sputtering a 3 catodi magnetron per la deposizione su substrati da 900 cm<sup>2</sup> di film sottili di ossidi trasparenti e

Foto in alto:  
laboratorio in clean room per la deposizione di film sottili di silicio amorfo e microcristallino per celle solari e microelettronica

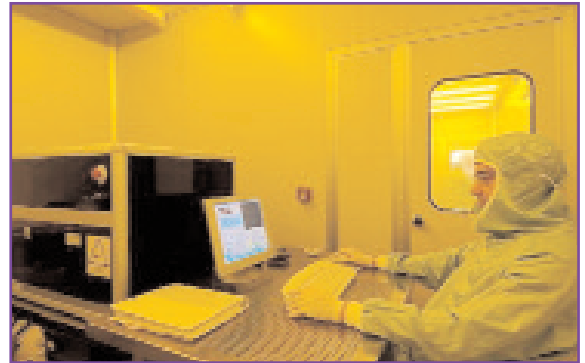
conduttori e di metalli in varie configurazioni elettrodo in moduli fotovoltaici;

- sistema Metal Organic CVD a singola camera per la sintesi da fase gassosa di film sottili di ossidi metallici su substrati di vetro;
- camere bianche in classe 100 e 10000, Mask-Aligner, Spinner, Profilometro meccanico, Wet bench, AFM/STM (Atomic Force Microscope /Scanning Tunnel Microscope) con testa per analisi elettrochimiche ed in ambiente controllato, Pattern Generator per maschere fotolitografiche in cromofino a 6";
- sistema di Laser Scribing per l'inter-connesione delle celle in serie in moduli a film sottile completo di: un laser a stato solido Q switched CW-pumped Nd-VO4 oscillante a 1064 nm; un laser a stato solido Nd-YLF con una lunghezza d'onda di 523 nm; sistema di focalizzazione dei fasci, omogeneizzatore di fascio; tavole xy motorizzate ad alta precisione;
- laser a eccimeri KrF con lunghezza d'onda 248 nm e picco di energia di 900 mJ; camera da vuoto con finestre di quarzo per irraggiamenti in ambiente controllato e deposizioni via laser ablation;
- spettrofotometro UV/VIS/NIR, Ellissometro a modulazione di fase, SEM (Scanning Electron Microscope), Sistema per misure di efficienza ottica e di angolo di accettazione di lenti per la concentrazione;
- diffrattometro ad alta risoluzione (classical Bragg-Brentano, analisi di film sottili e tessitura), Spettrofotometro FT-IR e microscopio IR, Raman Spectroscopy con tre sorgenti laser (514 nm, 633 nm, e 785 nm), Microscopio elettronico a scansione con microanalisi, Spettrometro ad emissione ottica per profili composizionali (GDOES);
- simulatori solari AM 1.5 Global, 100 mW/cm<sup>2</sup>, a singola e doppia sorgente in Classe A per valutare l'efficienza nominale delle celle solari piane e a concentrazione; sistema per misure di efficienza quantica di dispositivi a singola, doppia e tripla giunzione con e senza bias di luce o tensione; apparati per misure di conducibilità, energia di attivazione, della costante di Hall nell'intervallo 77-500 K; apparati per la mappatura della resistività; apparati per la determinazione di densità degli stati di difetto all'interno della banda proibita, della lunghezza di diffusione dei portatori minoritari e del tempo di vita dei portatori transienti in semiconduttori.

Tra le realizzazioni di rilievo del Laboratorio per le tecnologie dei film sottili si segnalano:

- brevetto di un sistema LP-MOCVD per la deposizione di ZnO su larga area caratterizzato da alta velocità di crescita dei film, fino a 20-30 Å/sec, testurizzazione naturale della superficie adatta all'intrappolamento della luce solare, basso costo del processo;
- film di ZnO:B depositati per MOCVD su 30 x 30 cm<sup>2</sup> con resistività  $\rho = 6 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ , trasmittanza media maggiore del 82% nel range di lunghezza d'onda 400-800 nm;
- celle solari tandem micromorph con efficienza massima dell'11,3% (stabilizzata al 10%);
- moduli tandem in silicio amorfo da 30 x 30 cm<sup>2</sup> con efficienza massima del 9,1% (stabilizzata al 7,3%).

Realizzazione di maschere fotolitografiche ad alta definizione



Misura di efficienza quantica di celle solari a giunzione singola o multipla



Diffrattometro ad alta risoluzione





## Unità Standard PhoCUS-5 (Photovoltaic Concentrators to Utility Scale)

L'Unità Standard PhoCUS-5 da 5 kWp, formata da un inseguitore a 2 assi (precisione  $\pm 0,2^\circ$ ) con piano da 35 m<sup>2</sup> attrezzato con 51 moduli a concentrazione, rappresenta una delle realizzazioni di rilievo in Italia nel settore del fotovoltaico a concentrazione.

Foto in alto:  
impianto Phocus-5

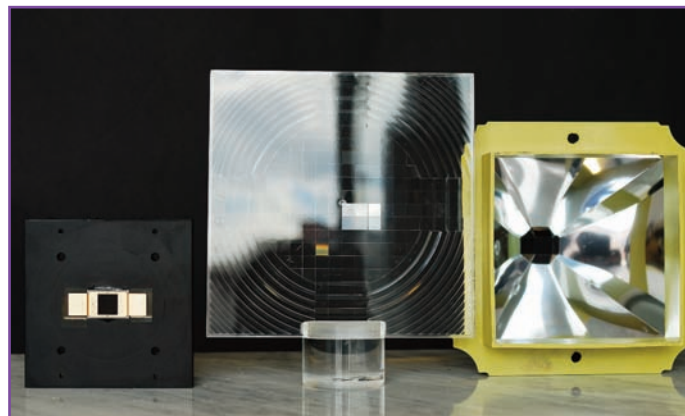
Le attività di ricerca sono focalizzate su:

- sviluppo di celle solari di silicio ad alta efficienza per la bassa-media concentrazione;
- sviluppo di ottiche rifrattive ad alta efficienza ( $> 80\%$ ) e ampio angolo di accettazione ( $> 0,6$ ) per l'alta concentrazione (400-500 X);
- progettazione e realizzazione di moduli intelligenti con sensori di posizione e dispositivi di MPPT integrati;
- sviluppo di inseguitori solari ad alta precisione e affidabilità per moduli point-focus.

Tra i risultati di rilievo si citano anche:

- brevetti di lenti prismatiche e ibride (fresnell-prismatiche) in PMMA per concentrazioni 200X, realizzate con stampaggio a iniezione, con efficienza ottica migliore del 80%;

- realizzazione di celle solari in c-Si con efficienza massima del 22,0% a 30X, 20,5% a 100X, e 20% a 200X;
- sviluppo di un modulo a concentrazione a basso costo, realizzato con un housing in plastica e 24 celle in serie; massima efficienza con celle in silicio cristallino da 1,21 cm<sup>2</sup> a 200X pari al 16,4%; massima efficienza con celle multigiunzione III-V da 1 cm<sup>2</sup> a 250X pari a 23,4%.



Nell'ordine, da sinistra: 1) cella fotovoltaica a concentrazione su dissipatore, 2) ottica primaria (lente ibrida – brevetto ENEA), 3) ottica

Impianto prototipale PhoCUS da 5 kWp basato sulla tecnologia a concentrazione point-focus





## Laboratorio celle fotovoltaiche organiche

Il Laboratorio celle fotovoltaiche organiche svolge attività di ricerca per lo sviluppo di dispositivi fotovoltaici che utilizzano materiali organici o polimeri semiconduttori nel processo di fotogenerazione della corrente. Gli obiettivi di lungo termine riguardano celle solari polimeriche (processi, caratterizzazione e studi di degradazione e stabilità) per la realizzazione di dispositivi a bassissimo costo e il modelling molecolare dei materiali attivi per celle solari organiche.

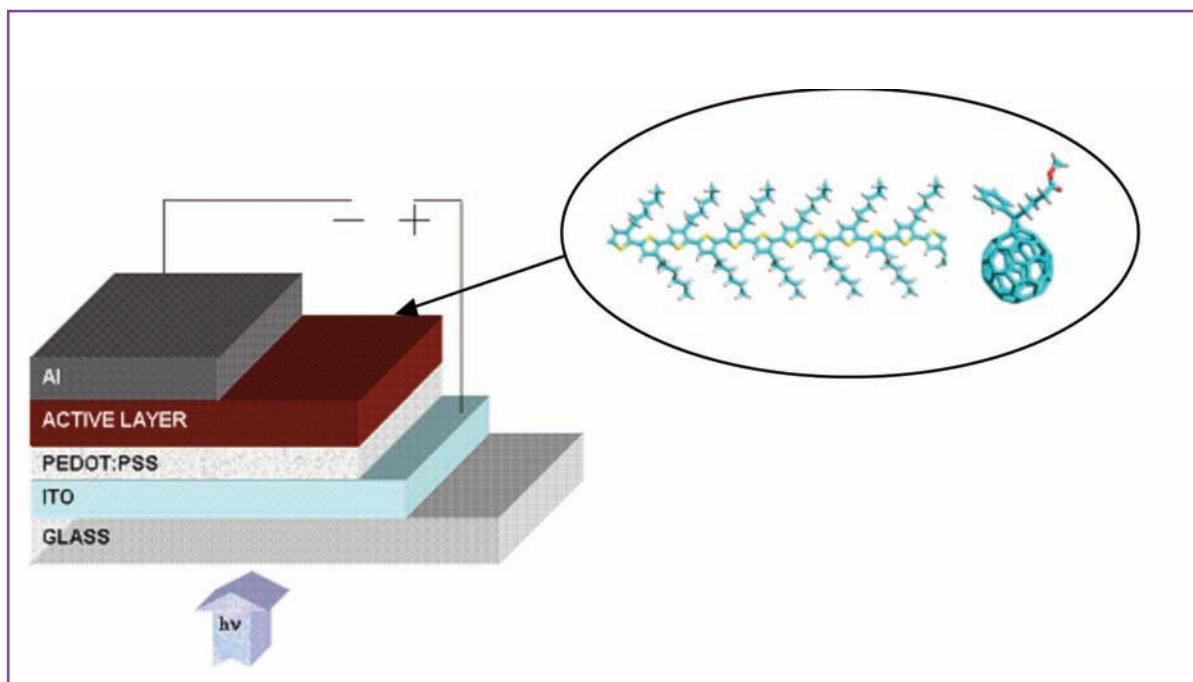
Il Laboratorio dispone di:

- clean room in cui vengono eseguiti i processi di pulitura dei substrati e il pattern del contatto frontale tramite processi fotolitografici;
- cappa chimica con spinner, per la deposizione di interlayer (PEDOT:PSS) da soluzione acquosa;
- glove Box con Evaporatore Termico integrato operante in atmosfera inerte e dotata di tutte le facilities per la deposizione di polimeri da soluzione (spinner) e per la deposizione dei contatti per la raccolta di cariche;
- sistemi di caratterizzazione morfologica, ottica ed elettrica.

Foto in alto:  
glove Box per lo sviluppo di celle solari polimeriche in ambiente privo di umidità e ossigeno, causa di un loro rapido degrado

Tra i risultati preliminari acquisiti si cita la realizzazione di una cella solare polimerica in P3HT:PCBM da 1 cm<sup>2</sup> con efficienza del 2,1% e picchi di efficienza quantica pari al 75%.

Struttura di una cella solare polimerica su substrato di vetro con strato attivo formato da una miscela di fullerene e politiofene







## Servizio di qualificazione di moduli fotovoltaici

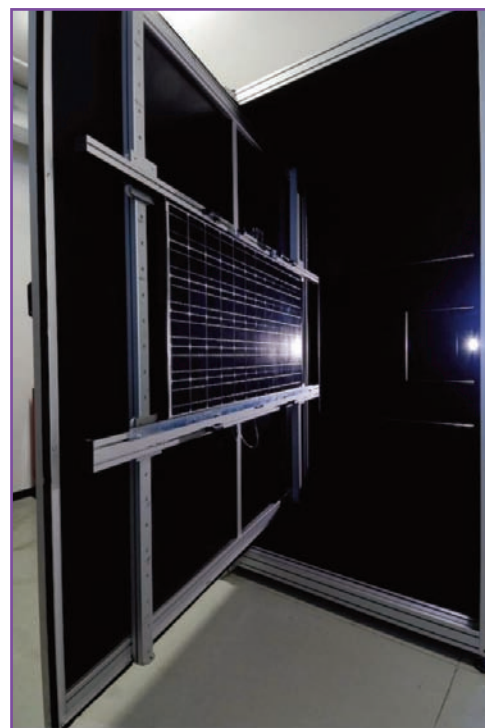
Il Servizio di qualificazione di moduli fotovoltaici offre la possibilità di determinare i principali parametri legati alle prestazioni, all'affidabilità e alla durabilità dei moduli fotovoltaici, sia piani che a concentrazione, commerciali o prototipali.

Potenziali utenti: aziende produttrici di moduli fotovoltaici; installatori, distributori e/o rivenditori di tale tipologia di componenti; Pubblica Amministrazione; Università e istituti di ricerca; altri organismi, istituzioni o privati interessati alla valutazione dei prodotti di mercato.

Il Laboratorio è attrezzato per svolgere le prove di qualificazione dei moduli secondo la normativa vigente (CEI EN 61215 - Class. CEI 82-8 - CT 82 - "Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo" - 1-08-2006), corrispondente alla norma internazionale IEC 61215:2005-04 "Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval", nonché secondo la norma CEI EN 61646 "Moduli fotovoltaici a film sottile per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo"-1-1-1999, corrispondente alla norma internazionale IEC 1646:1996-11 "Thin-film terrestrial photovoltaic(PV) modules - Design qualification and type approval".

Foto in alto:  
camera per il test di corrosione salina

Simulatore solare di classe A Pasan,  
apparecchiatura per la caratterizzazione di  
moduli fotovoltaici di larga area piani e a  
concentrazione e di celle fotovoltaiche



Per la diagnostica e la valutazione della qualità dei moduli sono impiegate le seguenti tecniche:

- ispezione visiva;
- misura della caratteristica I-V sotto illuminazione;
- misura della caratteristica I-V al buio;
- misura di impedenza complessa;
- misura capacitiva in funzione della frequenza;
- misura capacitiva in funzione della tensione applicata;
- misura di isolamento elettrico;
- analisi termica infrarossa;
- analisi delle caratteristiche di trasmittanza ottica;
- analisi delle caratteristiche termiche.

Per la valutazione della affidabilità dei componenti fotovoltaici sono realizzate le seguenti prove accelerate:

- prove di corrosione in camera salina;
- prova dei cicli termici;
- prova d'umidità e congelamento le prove di fatica termica in camera climatica;
- prova al caldo umido;
- prove sotto irraggiamento UV.

Per ulteriori dettagli e informazioni relative al servizio offerto si rimanda al sito web: [www.portici.enea.it](http://www.portici.enea.it)

Camera UV per prove di degrado per esposizione alla radiazione ultravioletta di celle fotovoltaiche e moduli fotovoltaici piani e a concentrazione



Moduli fotovoltaici nella camera per il test di corrosione salina: il processo di corrosione è innescato spruzzando continuamente o a intermittenza una miscela salina a pH acido controllato



## Caratterizzazione siti e sviluppo di componenti e impianti

Le attività di monitoraggio e caratterizzazione radio-meteo dei siti utilizzano attrezzature quali spettroradiometri UV/Vis/NIR Stellar-Net (300 – 1700 nm) e apparati per la misura della radiazione globale e diffusa, nonché strumentazione per il rilievo dei dati meteorologici (temperatura, pressione, umidità e velocità del vento).

Per quanto attiene lo sviluppo di componenti e impianti l'impegno è rivolto a test di impianti fotovoltaici, progettazione, sviluppo e sperimentazione di componenti e sistemi per la generazione diffusa, valutazione delle prestazioni energetiche degli impianti fotovoltaici sperimentali.

In particolare le attività prevedono:

- test di impianti fotovoltaici connessi alla rete e stand-alone con differenti tipi di moduli, inverter e batterie;
- progettazione, sviluppo e sperimentazione di componenti e sistemi per la generazione diffusa, in configurazioni d'impianto innovative nei riguardi del sistema elettrico di trasmissione, condizionamento e controllo della potenza; studio dei problemi connessi all'esercizio in parallelo con la rete elettrica (qualità energia, protezioni, sicurezza) e analisi di compatibilità elettromagnetica associate a componenti e/o impianti;
- monitoraggio radio-meteo dei siti di Portici e Manfredonia per la valutazione delle prestazioni energetiche degli impianti fotovoltaici sperimentali.

Foto in alto:  
stazione meteoradiometrica

Tra i risultati di rilievo conseguiti si citano i seguenti brevetti:

- brevetto di design del lampione fotovoltaico "Stapelia";
- brevetto del modulo per integrazione architettonica "Boogie-Woogie";
- brevetto del sistema antifurto per moduli "PV-Guardian".

Lampione fotovoltaico Stapelia® (brevetto ENEA) con integrazione della tecnologia led

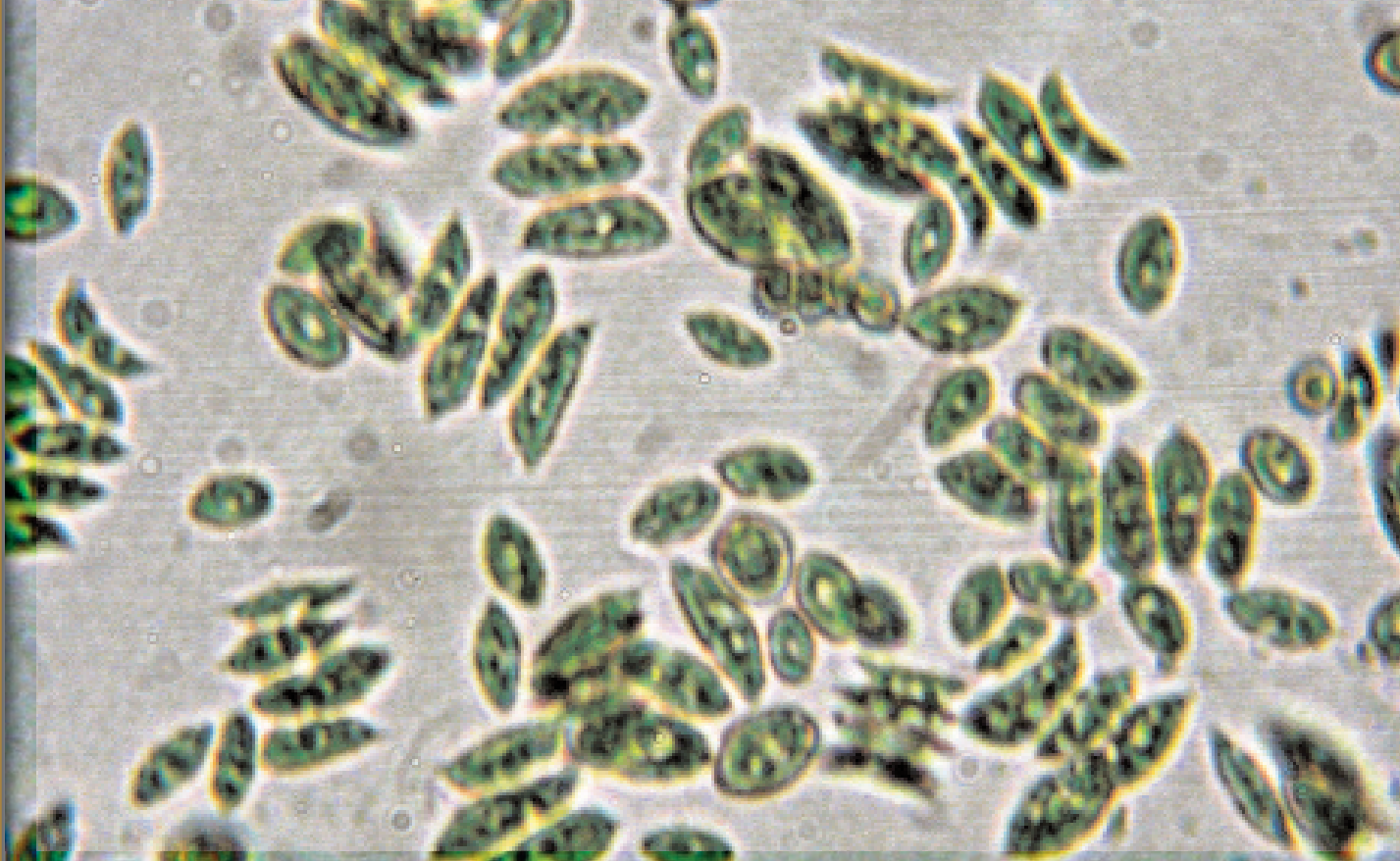




# BIOMASSE







## Laboratorio tecnologie delle microalghe ALGATEC

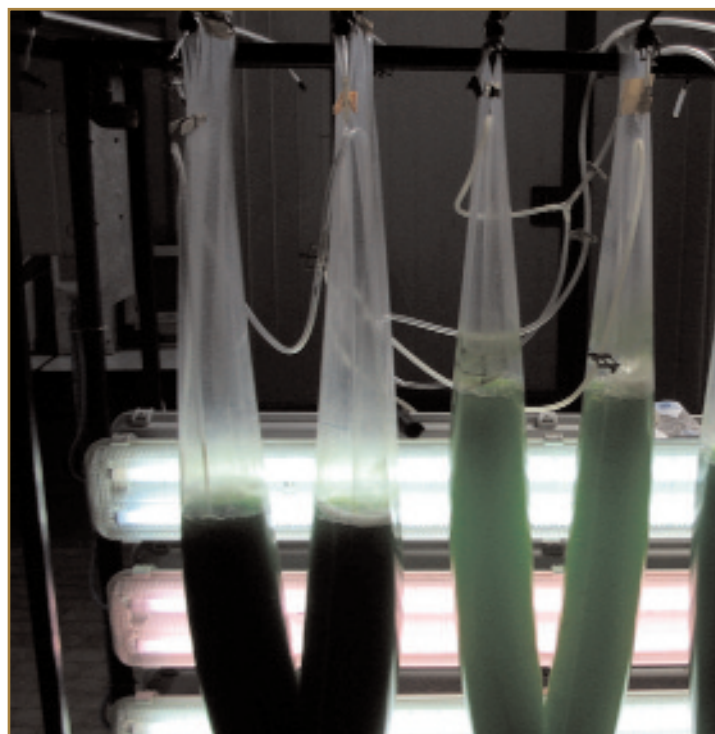
Il Laboratorio tecnologie delle microalghe ALGATEC svolge attività di studio, progettazione, realizzazione e gestione sperimentale di impianti per la produzione di microalghe e altri microrganismi fotosintetici, finalizzati prevalentemente alla produzione di energia. Gli impianti e i sistemi connessi vengono sviluppati nella prospettiva della realizzazione di colture massive su larga scala, e tengono conto dei bilanci energetici ed economici, nonché dei possibili impatti ambientali e della concorrenza con altre produzioni, con attenzione alla valorizzazione dei prodotti e dei sottoprodotti.

Potenziali utenti: industrie produttrici di biocarburanti e di energia da fonti rinnovabili.

Il Laboratorio ALGATEC si avvale di tecniche microbiologiche, chimiche e molecolari per studiare i processi di crescita algale ed è dotato di numerose facilities per la ricerca microalgale, in particolare apparecchiature per la riproduzione in vitro e lo studio delle curve di crescita, microscopi, armadi climatizzati con regolazione del fotoperiodo e una camera climatica. Inoltre dispone, nell'area del Centro Ricerca della Casaccia, di ampie superfici coperte in capannoni industriali, serre ed aree scoperte dotate di tutti i servizi.

Foto in alto:  
*Scenedesmus dimorphus* al  
microscopio in contrasto di  
fase

Sviluppo di microalghe in sacche di polietilene



ALGATEC ha iniziato la realizzazione di un impianto industriale nell'area di ricerca di Roma che coprirà una superficie di almeno 500 m<sup>2</sup>.

Le attività di ricerca del Laboratorio riguardano differenti aspetti della tecnologia:

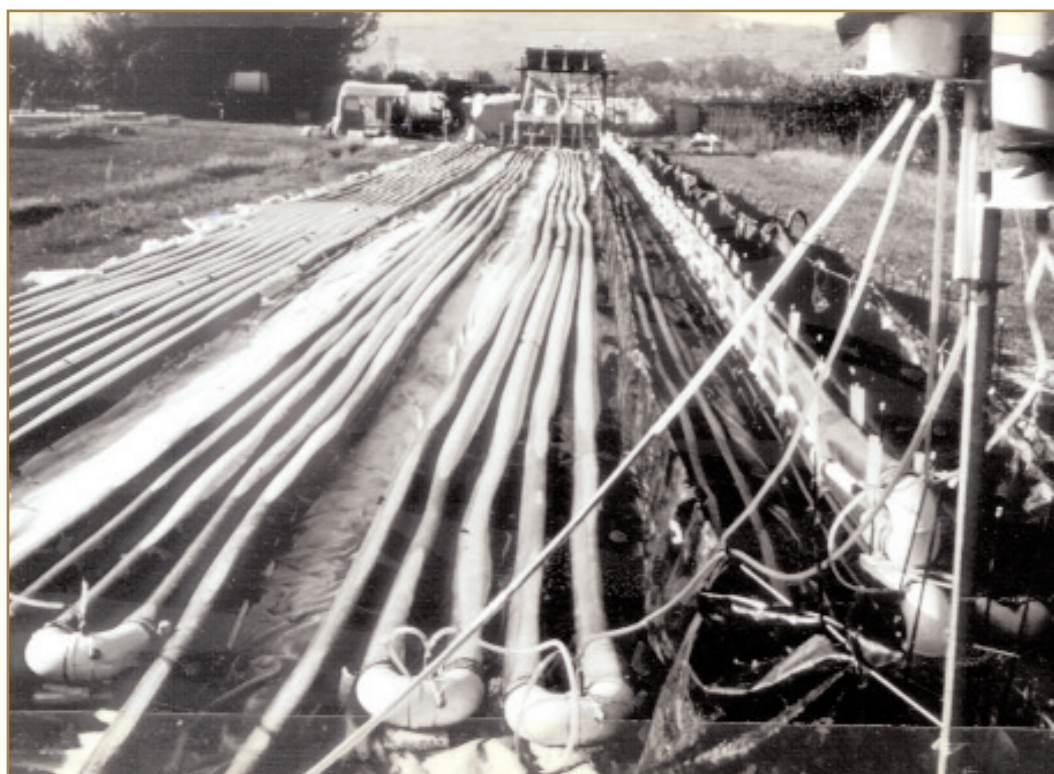
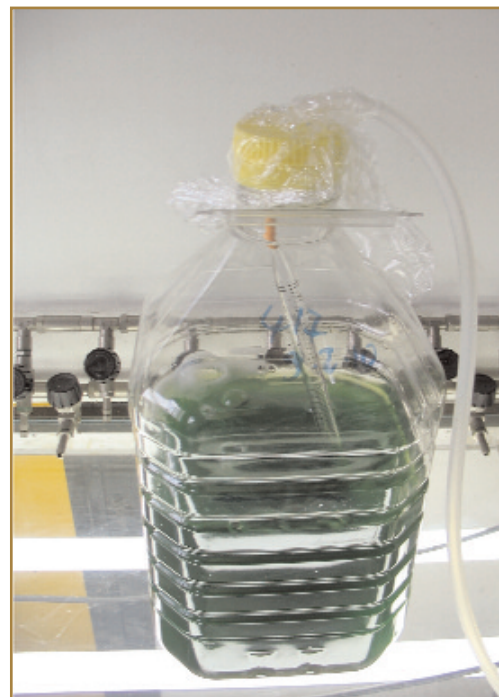
- sviluppo di volumi di coltivazione fino a 2 m<sup>3</sup> in fotobioreattori di vario tipo, in vista di utilizzazioni a fini energetici;
- mantenimento e caratterizzazione di ceppi microalgali, di acqua dolce e salata;
- studi di fotostimolazione con led a lunghezza d'onda calibrata per il miglioramento della bio-produttività di micro-alghe;
- prove di coltivazione e raccolta con tecnologie semplificate a basso costo.

Un'altra linea di attività riguarda la valorizzazione della biomassa in tutte le sue componenti. A tal scopo la ricerca è dedicata allo sviluppo di processi di estrazione/separazione/trasformazione delle componenti cellulari a valore energetico: lipidi, carboidrati, proteine. Su quest'ultime due frazioni sono iniziate prove di fermentazione per la produzione di biogas idrometano.

Il laboratorio ALGATEC nasce da consolidate esperienze:

- dal 1977 al 1979 è stato sviluppato il primo ed unico impianto industriale in Italia di crescita massiva;
- per oltre 20 anni sono state sviluppate le tecniche di produzione microalgale a supporto dell'acquacoltura;
- dal 1984 vengono studiati i processi di fioritura algale abnorme in ambienti costieri.

Sviluppo di inoculi in laboratorio



Impianto industriale sperimentato nel 1977-79





## Laboratorio fermentazioni IDROBIO

Il Laboratorio fermentazioni IDROBIO svolge attività di ricerca riguardante:

- lo sviluppo di nuovi processi fermentativi a scopo energetico a partire da biomasse di II generazione e scarti organici di varia provenienza;
- lo scaling-up dei processi di laboratorio fino alla scala industriale.

Potenziali utenti: Enti locali, municipalizzate, aziende private, Consorzi di aziende, Ministeri.

IDROBIO, nato nel 2004 con un finanziamento FISR del MIUR, ha le sue basi nelle competenze di Ecologia Microbica del laboratorio Biomasse e nelle precedenti esperienze fatte nello studio dei processi naturali in ambienti acquatici. Pertanto i microrganismi con le loro caratteristiche fisiologiche e con le loro dinamiche di comunità sono al centro delle attività.

Il Laboratorio si avvale di:

- un laboratorio dedicato alle fermentazioni in batch ed in continuo con Gas Cromatografo (per la misura della composizione dei Gas), HPLC e GC MS per la caratterizzazione dei metaboliti sviluppati durante i test sperimentali;
- un laboratorio di biologia molecolare con PCR Real-Time, elettroforesi, DGGE, cappa sterile e varie apparecchiature secondarie per preparazione e trattamento campioni;
- un laboratorio dedicato alla caratterizzazione delle sostanze organiche, che è in grado di fare routinariamente le misure

Foto in alto:  
idrolisi e produzione di  
idrogeno di scarti vegetali

di base come COD, potere calorifico, composizione elementare (C,N,P,S,H), e contenuto in lipidi, carboidrati e proteine.

Recentemente il Laboratorio ha messo a punto un processo di degradazione del glucosio che produce tramite la sola Dark-Fermentation 7 l H<sub>2</sub>/Day/l reactor che è tra i più alti valori riportati in letteratura. Ha selezionato numerosi ceppi microbici anaerobici idrolitici e produttori d'idrogeno. Ha condotto, con buoni risultati, numerosi test su rifiuti vegetali.

Scarti vegetali – Una azienda agricola di 150 ha ne produce circa 40 ton/giorno



La trasformazione in energia delle deiezioni animali è una delle attività prioritarie di IDROBIO



Fermentatore in continuo con elevata produzione di idrogeno



## Laboratorio di ecologia microbica MICROBIO

Il Laboratorio di ecologia microbica MICROBIO per lo studio processi naturali e relative applicazioni è il più antico laboratorio italiano di ecologia microbica. Le sue finalità sono:

- studio dei processi microbici in ambienti naturali,
- studio dei cicli biogeochimici in ambienti acquatici,
- riproduzione dei processi su scala laboratorio,
- studio delle dinamiche delle comunità batteriche coinvolte.

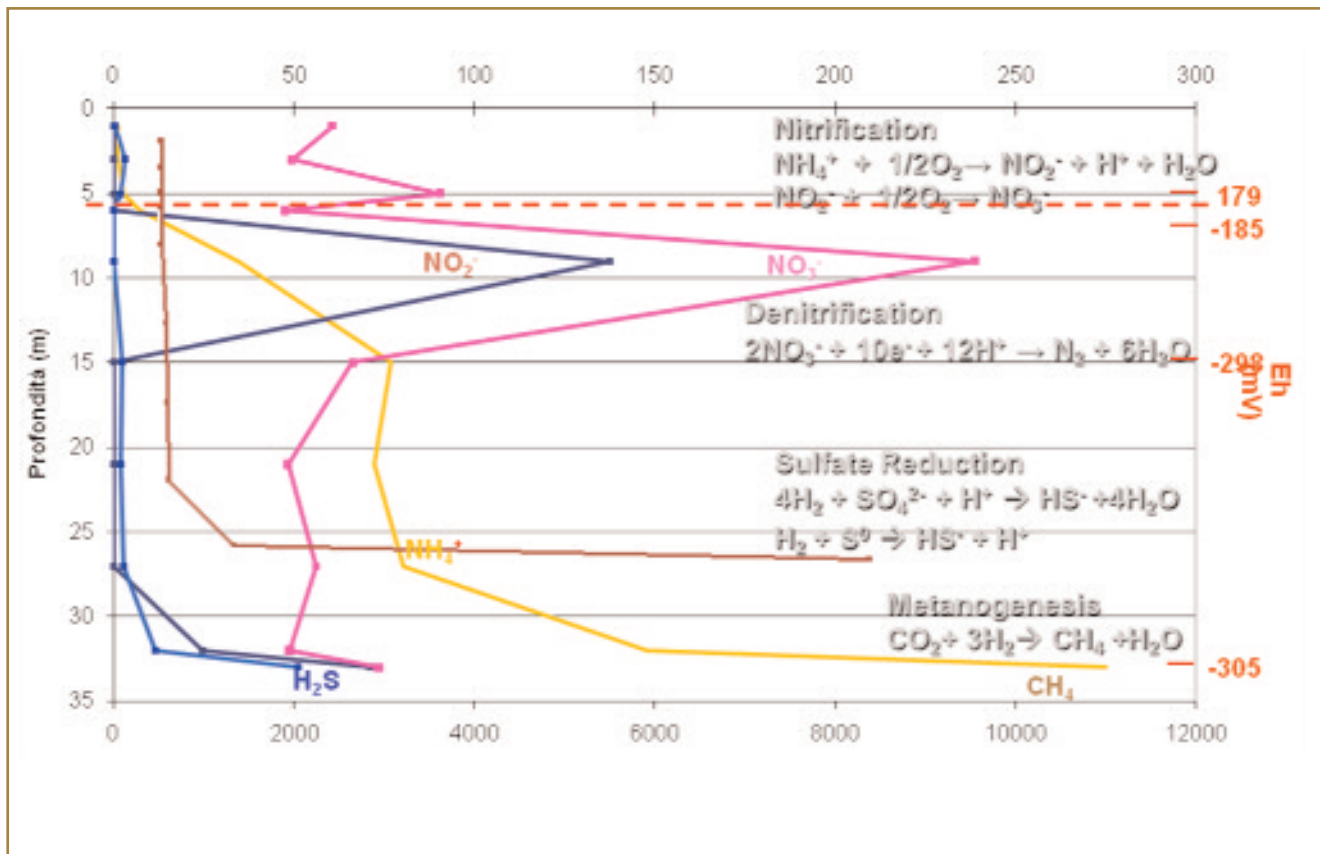
Potenenziali utenti: Enti locali, municipalizzate, aziende private, Consorzi di aziende, Ministeri.

Il Laboratorio MICROBIO si avvale di tecniche microbiologiche, chimiche e molecolari per studiare i processi microbici.

Il Laboratorio è entrato in funzione nel 1985 ed è dotato di moderna strumentazione statica e di campo per le analisi delle acque e delle comunità microbiche. Ha studiato 10 lagune eutrofiche italiane, tra cui la Laguna di Venezia e ne ha fornito le specifiche di risanamento. Numerosi i progetti con utenti quali il Consorzio Venezia Nuova, il Comune di Orbetello, il Ministero dell'Ambiente, il Ministero dell'Agricoltura, l'ISPRA.

I protocolli messi a punto dal laboratorio MICROBIO sono stati adottati dal Segretariato della Convenzione di Barcellona, delle Nazioni Unite, per il monitoraggio dell'eutrofizzazione costiera del Mediterraneo.

Foto in alto:  
lago di Fogliano, fioritura della  
*Ruppia cirrhosa*



Campionamenti nel lago di Averno





## Laboratorio colture agricole a scopo energetico

Il Laboratorio colture agricole a scopo energetico affronta tematiche riguardanti lo sviluppo e la sperimentazione agronomica di colture annuali e poliennali di biomassa da destinare alla produzione di biogas. Tale attività costituisce occasione per recare benefici all'ambiente utilizzando per produrre energia rinnovabile aree marginali e/o ambientalmente degradate, dove le tradizionali colture a destinazione alimentare troverebbero difficoltà ad essere praticate.

Potenziati utenti: il mondo agricolo e i gestori di impianti per la produzione di biocombustibili (biometano, bioetanolo ecc.) da biomasse coltivate e/o residuali nel comparto agro-zootecnico.

Il Laboratorio detiene specifiche competenze ed esperienze (chimiche, biologiche, agronomiche, impiantistiche, modellistiche) nell'approccio multidisciplinare alle tematiche inerenti la produzione, la caratterizzazione e l'utilizzo di biomasse provenienti da scarti e residui dell'agricoltura e/o da colture dedicate. Ciò per rispondere allo sforzo richiesto per migliorare i bilanci energetici ed ambientali sia per la fase della produzione agricola, sia per quella di trasformazione, e favorire quindi lo scambio di conoscenze tra le diverse fasi della filiera.

Specifiche competenze progettuali sono messe in campo per la massimizzazione dei vantaggi per l'ambiente, per il paesaggio e potenzialmente anche per il mondo rurale legati all'introduzione e diffusione, nei contesti favorevoli, delle colture energetiche.

Foto in alto:  
lavorazione del suolo per la  
semina del Topinambur presso la di-  
scarica di Cupinoro  
(Bracciano - Roma), Marzo 2009

Attualmente presso il Laboratorio sono oggetto di studio tecniche di coltivazione di biomasse vegetali fermentescibili ad elevato contenuto zuccherino (in particolare topinambur), da utilizzare nel processo di produzione di biogas e/o biidrogeno mediante fermentazione anaerobica sia da sole che in miscela con la frazione organica dei Rifiuti Solidi Urbani provenienti dalla raccolta differenziata. Le diverse biomasse agricole oggetto delle attività di ricerca saranno analizzate e caratterizzate e utilizzate successivamente per la sperimentazione, su scala di laboratorio e di impianto pilota, dei processi di conversione energetica.

Parcelle di diverse varietà di topinambur in coltivazione presso la discarica di Cupinoro (Bracciano - Roma) seminate nel 2010



Rizomi di topinambur (in media 20-30 per singola pianta) da utilizzare per la successiva semina e propagazione della coltura



Consociazione tra topinambur e orzo





## Impianto pilota di Steam Explosion

La Steam Explosion è un trattamento idrotermico che rende più facile e meno severa dal punto di vista ambientale la separazione delle tre frazioni costituenti i comuni substrati vegetali (emicellulosa, cellulosa e lignina).

Il processo consiste nell'uso di vapore saturo ad alta pressione per riscaldare rapidamente la biomassa in un reattore continuo o discontinuo. Il materiale viene tenuto alla temperatura desiderata (180-230 °C) per un breve periodo (1-10 minuti) nel corso del quale l'emicellulosa viene idrolizzata e resa solubile; alla fine di questo intervallo di tempo la pressione viene rapidamente riportata al valore atmosferico, ottenendo una decompressione esplosiva che sfibra ulteriormente la biomassa.

L'impianto pilota di Steam Explosion è in grado di trattare 300 kg/h di biomassa; test sperimentali vengono effettuati utilizzando un impianto batch da 0,5 kg/ciclo; a supporto operano laboratori di chimica strumentale, di chimica preparativa e di chimica biologica dotati di bio-reattori da 2 e 10 litri, per esperimenti di laboratorio e pilota, da 50 l per esperimenti di scale-up.

La struttura integrata costituita dagli impianti e dai laboratori è utilizzata per la conduzione di progetti di ricerca, sviluppo e dimostrazione per i biocombustibili liquidi da fermentazione (etanolo) in ambito europeo e nazionale ed è un riferimento per la nascente industria nazionale del settore di cui ENEA è tra i principali partner scientifici.

Foto in alto:  
vista componenti impianto pilota  
di Steam Explosion

Le attrezzature sono rese disponibili per attività direttamente finanziate dall'industria, anche in ambito non strettamente energetico quali l'ottenimento di zuccheri ad alto valore aggiunto da scarti, la produzione di materiali composti da fibra vegetale, il recupero di aminoacidi da proteine ecc.

Apparati di alimentazione della biomassa (a destra) e reattore tubolare di Steam Explosion (al centro dell'immagine)







## Piattaforma sperimentale di impianti per la gassificazione

Presso la Piattaforma sperimentale di impianti per la gassificazione viene studiato il processo chimico-fisico mediante il quale si trasforma un combustibile solido (legno, scarti agricoli, rifiuti) in combustibile gassoso. La sperimentazione viene condotta attraverso numerosi tipi di gassificatori – a letto fisso equicorrente (down-draft) e controcorrente (up-draft), a letto fluido bollente (BFB) e a doppio letto fluido ricircolante (FICFB) – utilizzati anche per produzione di energia elettrica a partire da biomasse tipiche regionali quali: olivo, cerro, quercia, scarti di origine agricola (gusci di mandorle, noccioli di albicocche).

Gassificatore a letto fisso equicorrente (down-draft) da 30 e 80 kW<sub>e</sub>

Gassificatore a letto fisso equicorrente (down-draft) da 30 e 80 kW<sub>e</sub>

Potenza termica: 150-450 kW<sub>th</sub>

Combustibile: biomasse non trattate

Agenti gassificanti: aria/aria arricchita

Pci gas: 3,8÷6 MJ/Nm<sup>3</sup>

Applicazione: produzione energia elettrica.

L'impianto è equipaggiato con un sistema di purificazione a "treno" costituito nell'ordine da filtri ad urto-inerzia, scrubber ad acqua, defanghizzatore e filtro a segatura ed è accoppiato, nella sua configurazione base, a un motore a combustione interna a ciclo "Otto". L'impianto è integrato da una sezione per alimentare il gassificatore con aria arricchita, che permette di ottenere un gas a più alto potere calorifico e più pulito rispetto alla contaminazione di tar.



Gassificatore a letto fisso controcorrente (up-draft) da 150-200 kWth

Potenza termica: 150-200 kWth

Combustibile: biomasse non trattate, mix biomassa/CDR

Agente gassificante: aria, aria/vapore

Pci gas: 4,5-5,5 MJ/Nm<sup>3</sup>

Applicazione: produzione di vettori gassosi per produzione di chemicals (H<sub>2</sub> e biocarburanti) ed energia elettrica.

L'impianto è equipaggiato con un sistema di purificazione ad umido (scrubber a biodiesel) e una sezione di aggiustamento della composizione del syngas (reattore catalitico di shift e rimozione con solvente di CO<sub>2</sub>). L'impianto è stato realizzato nell'ambito di un Accordo di Progetto nazionale ed è finalizzato a verificare le potenzialità di impiego di mix biomasse/CDR sia a fini energetici sia per la generazione di vettori gassosi ad alto tenore di idrogeno, utili nella produzione di biocarburanti di sintesi (metanolo) e idrogeno a grado di purezza Fuel Cell.



Gassificatore policombustibile a letto fluido bollente (BFB) da 1000 kWth

Potenza termica: 1000 kWth

Combustibile: biomasse non trattate

Agente gassificante: aria, ossigeno/vapore

Pci gas secco: 4,5-6 MJ/Nm<sup>3</sup>, 9-10 MJ/Nm<sup>3</sup>

Applicazione: produzione energia elettrica e vettori gassosi ad alto tenore di H<sub>2</sub>.

Concepito nell'ambito di una cooperazione scientifica e tecnologica tra l'ENEA e il LIER (Liaoning Institute of Energy Resources, Cina), l'impianto - inizialmente equipaggiato con un sistema di purificazione integrato a secco (cicloni) e ad umido (scrubber ad acqua) - è stato di recente modificato per purificare il syngas nello stesso reattore, attraverso l'integrazione nel letto fluido di materiali catalitici e sorbenti (rimozione contaminanti organici e inorganici) e l'alloggiamento nel freeboard del reattore di un sistema di filtrazione a candele ceramiche catalitiche (reforming di idrocarburi leggeri e rimozione particolato).



Gassificatore a doppio letto fluido ricircolante (FICFB) da 500 kWth

Potenza termica: 500 kWth

Combustibile: biomasse non trattate

Agente gassificante: vapore

Pci gas: 10-12 MJ/Nm<sup>3</sup>

Applicazione: produzione gas ad alto tenore di idrogeno, produzione energia elettrica.

L'impianto è equipaggiato con un sistema di filtrazione ad alta temperatura a candele ceramiche (T<sub>max</sub> ~ 650 °C) ed è stato realizzato nell'ambito di un progetto comunitario per verificare la potenzialità della gassificazione a vapore in reattore FICFB. Dall'impianto si ottiene una corrente di syngas ricca in idrogeno e di elevata purezza. Le caratteristiche del gas sono tali da consentire l'accoppiamento dell'impianto con utenze ad alta efficienza quali le Fuel Cell a carbonati fusi (MCFC). La Fuel Cell impiegata nel dimostrativo per la produzione di energia elettrica a partire da biomasse ha una potenza di 125 kWe.





## Laboratorio di caratterizzazione delle biomasse e controllo processi

Il Laboratorio di caratterizzazione delle biomasse e controllo processi è dotato di strumentazione analitica d'avanguardia per la caratterizzazione completa delle biomasse, biocombustibili solidi e di tutte le correnti dei processi di trasformazione, inclusi i reflui solidi, liquidi e gassosi.

Potenziali utenti: il Laboratorio rende disponibili le proprie competenze e attrezzature per attività direttamente finanziate dall'industria nell'ambito di progetti di ricerca, sviluppo e dimostrazione.

Le attività di servizio sono integrate nella messa a punto di processi innovativi di pirolisi, gassificazione e combustione di cui l'ENEA ha una consolidata esperienza. Tipicamente, viene assicurato un supporto all'esercizio e messa a punto delle condizioni di processo e alla caratterizzazione del processo stesso attraverso analisi on-line e off-line.

Le attività del Laboratorio riguardano:

- caratterizzazione di biocombustibili solidi:
  - Proximate Analysis (contenuto di umidità, ceneri, sostanze volatili e carbonio fisso);
  - Ultimate Analysis (contenuto di carbonio, idrogeno, azoto, ossigeno, zolfo e cloro);
  - determinazione elementi metallici maggioritari (Ca, Na, K, Fe ecc.);
  - determinazione elementi metallici minoritari (Cd, Co, Cr, Ni ecc.);

Vista del Laboratorio di caratterizzazione delle biomasse e controllo processi



- determinazione Potere Calorifico Superiore (PCS) ed Inferiore (PCI);
- determinazione della composizione biochimica delle biomasse (cellulosa, emicellulosa, lignina, estrattivi).
- caratterizzazione correnti di processo:
  - determinazione composizione syngas processi di conversione termochimica delle biomasse ( $\text{CO}_2$ ;  $\text{C}_n\text{H}_n$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CO}$ );
  - determinazione inquinanti organici ed inorganici syngas (tar,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ );
  - caratterizzazione biomasse sottoposte a processo di trattamento idrotermico (steam explosion);
  - bilancio delle componenti biochimiche;
  - determinazione quali quantitative inibitori dei processi di bioconversione delle biomasse (idrolisi e fermentazioni).
- sviluppo di metodologie analitiche:
  - sviluppo e ottimizzazione di processi di conversione termochimica, acquisizione dati sperimentali modellazione matematica dei processi;
  - sviluppo e ottimizzazione di processi innovativi di idrolisi e fermentazione delle biomasse;
  - sviluppo e test di apparati di prova.

La strumentazione installata nel laboratorio afferisce a diverse tecniche analitiche quali:

- tecniche cromatografiche:
  - cromatografia di scambio ionico;
  - HPLC;
  - gascromatografia.
- tecniche spettroscopiche:
  - spettrofotometria UV-Vis e IR;
  - spettrofotometria di assorbimento atomico ICP-OES;
  - spettrometria di massa GC-MS e ICP-MS.
- metodi termici di analisi:
  - termogravimetria (TG) e termogravimetria derivata (DTG);
  - analisi elementare;
  - calorimetria.

Le metodologie utilizzate seguono gli standard internazionali alla cui redazione il laboratorio contribuisce attivamente essendo parte di gruppi di lavoro in ambito CEN , CEN/TC 335 e CEN/TF 143.

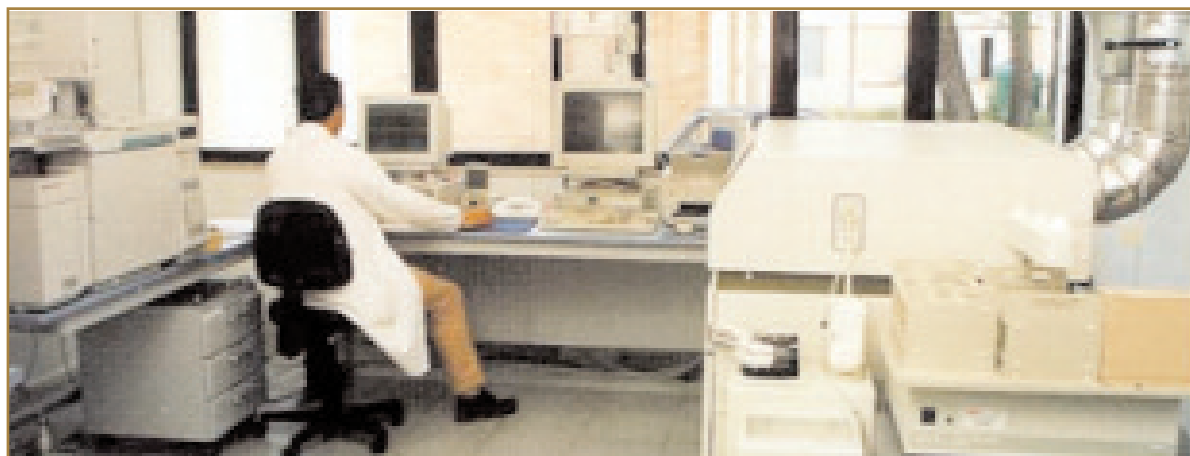
Viste del Laboratorio con diverse strumentazioni



Spettrometro ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer)



Vista del Laboratorio di caratterizzazione delle biomasse e controllo processi





## Laboratorio per la caratterizzazione del biodiesel

Il laboratorio per il biodiesel, operativo dal 2009, è dotato di apparecchiature specifiche per la caratterizzazione chimico-fisica del biodiesel e per effettuare sperimentazione nel campo della sintesi chimica.

Potenziati utenti: laboratori pubblici e privati che svolgono attività di ricerca nel campo dei biofuel.

Le apparecchiature in dotazione consentono di effettuare la determinazione della viscosità cinematica, del numero di acidità, di trigliceridi e glicerolo e dei singoli metilesteri (FAME).

È inoltre possibile determinare i parametri utili a livello motoristico come ad esempio il flash point (punto di infiammabilità) e le proprietà a freddo dei combustibili liquidi (punto di intorbidamento e punto di intasamento a freddo dei filtri CFPP).

Tra gli strumenti in dotazione sono presenti un gas-cromatografo, uno spettrometro UV-Visibile, un calorimetro ed un Rancimat (utile per la determinazione della stabilità ossidativa di oli e biodiesel).

Vista del Laboratorio per la caratterizzazione del biodiesel



Oltre alle determinazioni di carattere analitico, nel Laboratorio è possibile eseguire attività di sperimentazione chimico-fisica complesse come la distillazione frazionata sotto alto vuoto di liquidi alto-bollenti e la sintesi chimica mediante processi in condizioni estreme, impiegando reattori che consentono operare ad elevate pressioni e temperature (fino a 300 °C e 300 bar).

Il Laboratorio opera nello studio qualitativo del biodiesel prodotto da oli vegetali esausti, nella progettazione e realizzazione di reattori innovativi per la sintesi del biodiesel mediante catalisi eterogenea (in questo caso particolare si ottimizza l'efficacia di catalizzatori che possono essere recuperati senza inquinare le correnti secondarie come il glicerolo) ed infine come supporto alle attività di gassificazione tramite lo studio e la caratterizzazione del biodiesel impiegato per la pulizia del syngas, mediante scrubbing.

Reattore ad elevata pressione e temperatura



Vista del Laboratorio per la caratterizzazione del biodiesel





## Laboratorio GIS indagini biomasse

Nel Laboratorio GIS indagini biomasse vengono effettuati studi statistici su disponibilità e distribuzione delle biomasse utilizzando criteri di geodatabase building, cartografia digitale dinamica, operazioni di geoprocessing in ambiente GIS.

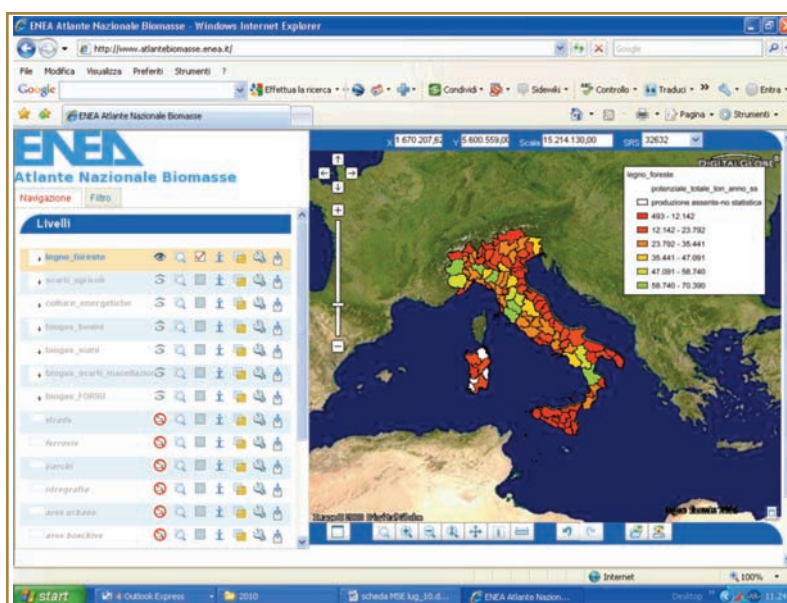
Nell'ambito delle attività del Laboratorio è stato realizzato un portale web dove sono visualizzabili e scaricabili, in maniera interattiva e in modalità WEB-GIS, tavole e mappe tematiche su potenzialità, distribuzione e tipologia di biomassa nelle province italiane.

Tipica schermata dell'Atlante delle biomasse

Si tratta di un Atlante delle biomasse che offre all'utente alcune importanti opportunità:

- accedere a dati caricando mappe da server esterni inserendo l'URL di un servizio web compatibile OGC o ECWP;
- gestire e configurare contesti di mappe (WMC) sia di un contesto esistente che di uno nuovo creato con i servizi individuati in precedenza;
- navigare i dati del contesto e visualizzarli nella proiezione più appropriata.

Inoltre, in un flusso di lavoro di dati vettoriali, il client web consente di



selezionare gli elementi (es. singole istanze di alcuni dati vettoriali) e di visualizzare le loro proprietà e attributi.

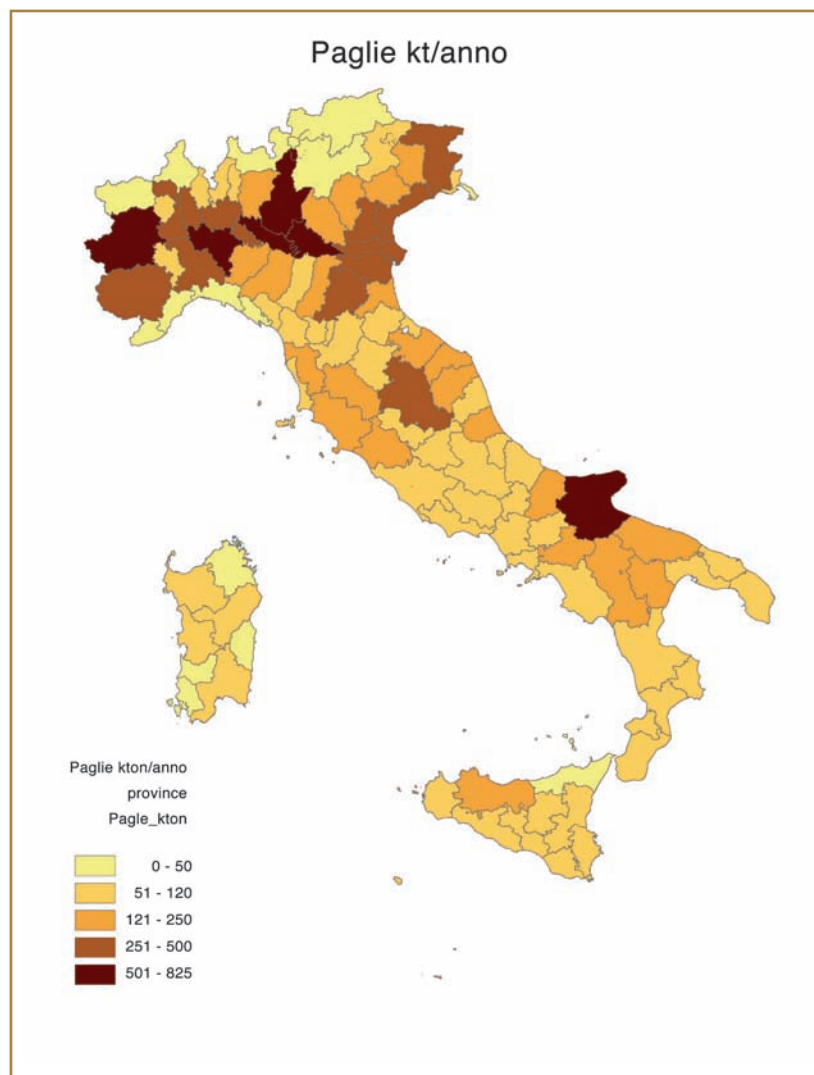
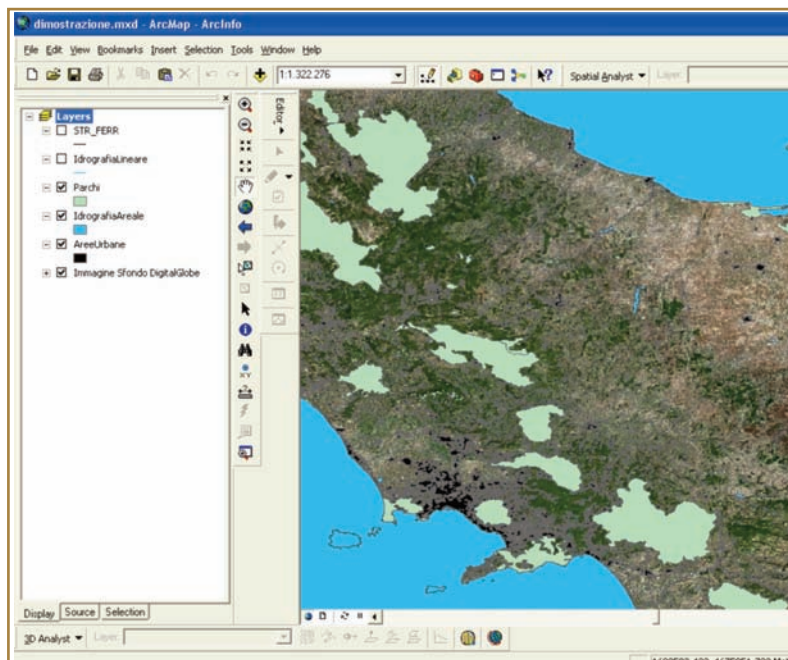
È possibile il filtraggio dei dati, mediante la definizione di un filtro spaziale su misura o sulle informazioni alfanumeriche.

La consultazione dell'Atlante delle biomasse è semplice e intuitiva e non richiede nessun applicativo speciale ma solo un normale browser internet (Explorer, Firefox, Netscape, Chrome).

I dati possono essere analizzati sovrappo-  
nendoli a quelli provenienti anche da fonti  
esterne, nel rispetto dei criteri di interope-  
rabilità.

I ricercatori dell'ENEA e degli altri istituti  
scientifici affiliati al progetto possono  
aggiornare, direttamente dalla propria sede,  
i contenuti del geodatabase e inserire nuovi  
servizi.

Tipica vista del territorio attraverso  
il portale Atlante delle biomasse



Tipica mappa per potenzialità di biomasse



# VALUTAZIONI AMBIENTALI





Radiazione solare media nei principali comuni italiani  
Media dei dati dal 1994 al 1999  
kWh/m<sup>2</sup> anno



## Centro Studi per la valutazione della sostenibilità ambientale di piani, progetti e programmi territoriali per la produzione di energia da fonti rinnovabili

La finalità del Centro Studi è quella di supportare con le proprie conoscenze scientifiche e tecnologiche i pianificatori e i progettisti di impianti che utilizzano fonti energetiche rinnovabili (FER). Il supporto è finalizzato alla piena conformità normativa in materia di protezione ambientale delle azioni proposte sul territorio.

Potenenziali utenti: amministrazioni locali responsabili dell'implementazione dei piani energetici, consorzi industriali e associazioni di categoria e di impresa interessate all'implementazione di piani e di impianti FER sui territori di pertinenza.

La normativa vigente (D.Lgs. 152/2006 e successive m.i.) recependo le direttive comunitarie in materia di protezione ambientale, 92/43/CEE (Direttiva "Habitat"), 2000/60/CE (Direttiva "Acque"), 2001/42/CE (Direttiva "VAS"), 85/337/CEE (Direttiva "VIA") ed estendendone i contenuti alle "aree sensibili" nazionali, impone ai pianificatori e ai progettisti di valutare, attraverso studi adeguati, gli effetti ambientali delle azioni proposte, di individuare le opportune misure di mitigazione degli effetti e di fornire indicatori per il monitoraggio.

L'ENEA, vantando una esperienza più che trentennale nel settore delle valutazioni e delle certificazioni ambientali, è in grado di supportare i pianificatori e i progettisti negli studi ambientali, a partire dall'individuazione dei siti più idonei ad ospitare le implementazioni proposte sino alla identificazione degli aspetti ambientali degli impianti in condizioni ordinarie,

Foto in alto:  
carta della radiazione solare media al suolo in Italia  
elaborazione da dati ENEA

straordinarie e di emergenza per l'intero ciclo di vita dell'impianto (costruzione, esercizio, dismissione).

Su Commessa della Regione Lombardia - Qualità dell'Ambiente, l'ENEA ha predisposto il "Documento di indirizzo per l'individuazione degli aspetti ambientali sull'utilizzo dei sistemi di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili nelle aree protette" (allegato all'edizione speciale del 21 aprile 2009 del B.U.R. Lombardia).

Collaborazioni nello stesso ambito sono in atto o sono state attuate col Distretto Industriale di Termoli, col Parco Agro-Alimentare di San Daniele del Friuli e con gli enti gestori di varie aree protette (parchi nazionali del Circeo, d'Abruzzo, parco regionale del Frignano ecc.)

I prodotti intellettuali dell'ENEA sono stati inseriti nella normativa cogente dei committenti.

Artificializzazione del suolo di un impianto fotovoltaico industriale  
(fonte: [www impiantipannellifotovoltaici.it](http://www impiantipannellifotovoltaici.it))



Parco eolico con torri a traliccio e disposte ad "effetto selva"  
(fonte: [www.fis.unipr.it](http://www.fis.unipr.it))



Esempio di impianto definito come "micro-idroelettrico"  
(fonte:

[www.casasoleil.it/energieRinnovabili/micro-idro.htm](http://www.casasoleil.it/energieRinnovabili/micro-idro.htm))



Vista di un impianto a biogas  
(fonte: [www.schmack-biogas.com](http://www.schmack-biogas.com))



Edito dall'ENEA – Unità Comunicazione

Revisione testi: Antonino Dattola

Grafica interni: Cristina Lanari

Copertina: Bruno Giovannetti

Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - Frascati

Finito di stampare nel mese di luglio 2010

