



ENEA

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

DOSSIER

TECNOLOGIE AVANZATE PER L'ENERGIA E L'INDUSTRIA

**Infrastrutture sperimentali
e di calcolo numerico**

Maggio 2013

*Ambiente
Energia
Innovazione*



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

DOSSIER

TECNOLOGIE AVANZATE PER L'ENERGIA E L'INDUSTRIA

Infrastrutture sperimentali e di calcolo numerico

Maggio 2013

INDICE

INTRODUZIONE

PROCESSI PER LA COMBUSTIONE SOSTENIBILE

Infrastrutture sperimentali relative all'uso sostenibile di combustibili fossili

- Impianto sperimentale AGATUR per lo studio di cicli turbogas avanzati
- Impianto sperimentale COMET-HP per lo studio dei processi di combustione in turbine a gas
- Galleria aerodinamica subsonica a circuito chiuso
- Impianto sperimentale GESSYCA per prove di produzione e trattamento syngas
- Impianto sperimentale IDEA per lo studio della combustione di syngas ricchi di idrogeno
- Impianto sperimentale MICOS per sviluppo di bruciatori operanti con combustibili convenzionali o syngas
- Impianto sperimentale ZECOMIX per tecnologie "Zero Emission"

Laboratori e competenze relative alla diagnostica, simulazione, ottimizzazione e controllo di processi energetici

- Laboratorio Analisi e ottimizzazione di impianti e processi energetici
- Laboratorio CHI.PR.E. per studi di chimica dei processi energetici
- Laboratorio Diagnostica laser per la combustione
- Supervisione e controllo di processi e impianti
- Laboratorio di termofluidodinamica computazionale

VEICOLI A BASSO IMPATTO AMBIENTALE

- Laboratorio Prove al banco a rulli, per prove di sviluppo e caratterizzazione di veicoli elettrici e ibridi
- Laboratorio Prova batterie
- Laboratorio Prove supercondensatori
- Sala prova sistemi di trazione elettrici
- Sale prova motori termici ed elettrici
- Impianto prova macchine alimentate a idrogeno, altri combustibili gassosi e miscele

ROBOTICA

- Laboratorio Robotica mobile terrestre
- Piscina per test su robot subacquei
- Laboratorio Telemanipolazione
- Laboratorio Sensoristica e automazione per l'assistenza fisico-emotiva alla persona

TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA AI SISTEMI ENERGETICI

- Impianti sperimentali CA.DO.RE., AI.CO.WA. e Pa.CO₂ per lo studio di cicli termodinamici a CO₂
- Impianti sperimentali MICROBO e GHPD per studi sulla trasmissione del calore in assenza di gravità
- Impianti sperimentali H.E.T.NA. e BO.E.MI.A. per studi sulla termomeccanica dei nanofluidi e la termofluidodinamica in microcanali
- Sistema di impianti sperimentali e dimostratori per studio e sviluppo del solar heating/cooling
- Laboratorio Sviluppo sensori e strumentazione

SISTEMI SPERIMENTALI PER L'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA

- Laboratorio CORVO per le verifiche energetico-ambientali di sistemi di illuminazione
- Laboratori ICELAB e FIRELAB per verifiche energetico-ambientali di elettrodomestici del freddo e forni elettrici

SMART VILLAGE

- Impianto sperimentale di Smart Village

INTRODUZIONE

L'Unità Tecnica Tecnologie Avanzate per l'Energia e l'Industria è impegnata nell'innovazione tecnologica e nella prestazione di servizi avanzati nei settori dell'energia e dello sviluppo economico sostenibile, con riferimento all'uso razionale dell'energia, all'impiego sostenibile dei combustibili fossili e agli usi finali dell'energia.

L'Unità è articolata in cinque laboratori (Processi per la combustione sostenibile, Veicoli a basso impatto ambientale, Robotica, Termofluidodinamica applicata ai sistemi energetici, Sistemi sperimentali per l'uso razionale dell'energia) e tre coordinamenti tecnici (Uso sostenibile dei combustibili fossili, Tecnologie innovative per l'ecoindustria, Sistemi di accumulo elettrico). Le attività sono prevalentemente svolte mediante lavoro sperimentale, supportato con opportune competenze di tipo codicistico e numerico che si concretizza con l'analisi interpretativa dei dati sperimentali prodotti per l'applicazione industriale, la realizzazione di dimostratori, il trasferimento tecnologico.

In particolare, l'Unità Tecnica opera mediante la progettazione, realizzazione ed esercizio di impianti e apparecchiature sperimentali per la conduzione di ricerche finalizzate allo sviluppo di tecnologie (miglioramento dei rendimenti energetici in fase di produzione e di usi finali, con particolare attenzione alla riduzione dell'impatto ambientale) e per l'industria (settore della refrigerazione, del condizionamento ambientale, aerospaziale, navale, elettronica, industria di processo), progettazione e realizzazione di sensori e sistemi sensoriali dedicati alla realizzazione di robot per applicazioni industriali ad ampio spettro (terrestre, marino, spaziale, ambientale, security ecc.), sviluppo e ingegnerizzazione di sistemi tecnologici, componenti e processi destinati all'impiego sostenibile di combustibili fossili e all'uso finale dell'energia, con particolare riferimento allo sviluppo di veicoli a basso impatto ambientale e all'ottimizzazione di elettrodomestici.

Apporta inoltre importanti contributi innovativi anche nel settore delle ricerche sull'accumulo di energia nelle diverse forme e metodi per applicazioni mobili e stazionarie (batterie avanzate a base di litio, supercondensatori elettrochimici e altri metodi alternativi) e nello sviluppo di sistemi tecnologici avanzati per la produzione di energia ad alta efficienza nei sistemi produttivi e per l'ecoindustria, le smart cities e la sostenibilità delle dinamiche urbane.

L'Unità Tecnica mette a disposizione di interlocutori industriali e tecnologici, in particolare le PMI e l'industria per la produzione energetica, un ambiente qualificato, di eccellenza e super partes per l'esecuzione di prove sperimentali dedicate allo sviluppo di tecnologie e prodotti innovativi e avanzati.

Il presente dossier presenta le infrastrutture di ricerca sperimentale e di calcolo numerico attraverso le quali opera l'Unità Tecnica.

Gian Piero Celata
Responsabile Unità Tecnica Tecnologie Avanzate per l'Energia e l'Industria

PROCESSI PER LA COMBUSTIONE SOSTENIBILE

Nell'ambito dello sviluppo di impianti a più elevata efficienza e *zero emission* e di tecnologie per la produzione di nuovi combustibili, le infrastrutture sperimentali e di calcolo numerico attraverso le quali l'Unità opera sono finalizzate a:

- sviluppo di modellistica della combustione (di tipo RANS o LES) su piattaforme di calcolo parallele, per lo studio di flussi reattivi mono e multifase, e la progettazione di dispositivi;
- diagnostica della fiamma, per lo studio di nuove tecnologie e la progettazione di bruciatori;
- sviluppo di tecnologie avanzate di combustione (MILD Comb., Oxy-Comb., Trapped Vortex Tech. ecc) e di cicli di conversione avanzati (Advanced Gas Turbine Cycles "capture ready" ecc);
- messa a punto di processi innovativi di gassificazione e pirolisi per un uso sostenibile di combustibili fossili solidi;
- cattura della CO₂ con sorbenti solidi e con solventi liquidi innovativi, agendo sulla de-carbonatazione del combustibile o sui fumi di combustione;
- utilizzazione della CO₂ per produzione di combustibili e "chemicals", come via alternativa al sequestro geologico della CO₂;
- storage della CO₂ e suo monitoraggio.



Impianto sperimentale AGATUR per lo studio di cicli turbogas avanzati

L'impianto AGATUR (Advanced GAs Turbine Rising) è una facility sperimentale per lo studio e la messa a punto di cicli termodinamici turbogas avanzati, a più alto rendimento e a minor impatto ambientale.

Potenziali utenti: operatori del settore energetico; costruttori di macchine; enti di ricerca pubblici e privati.

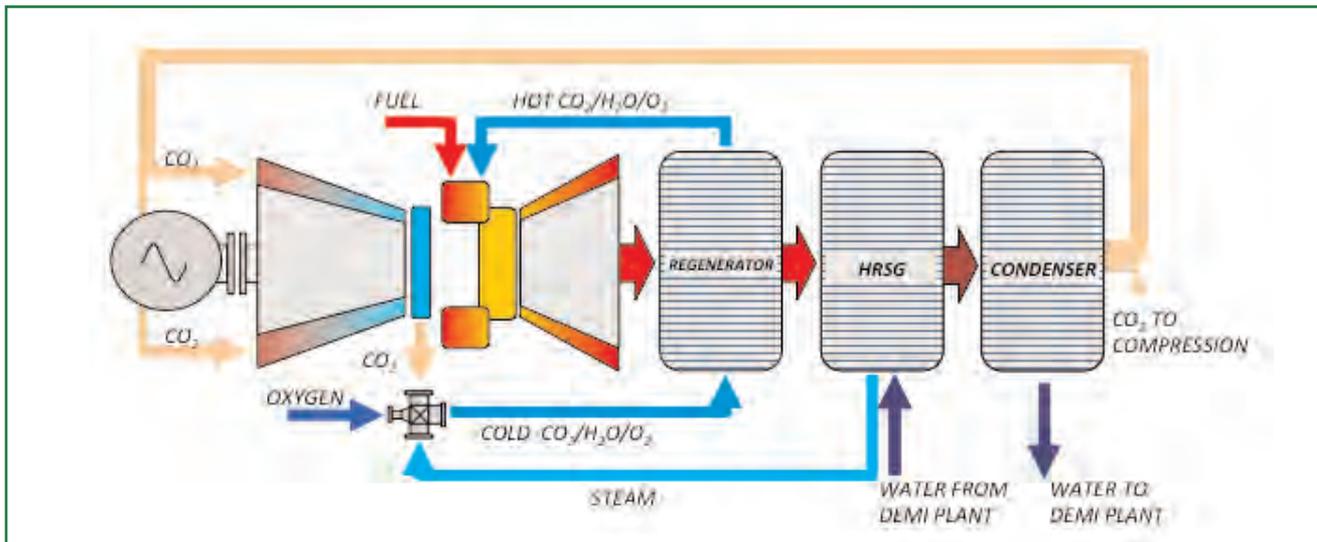
L'impianto è configurato in modo da consentire l'impiego di una micro turbina a gas (μ TG) da 100 kW elettrici (TURBEC T100) direttamente connessa, lato comburente, a un vessel di notevoli dimensioni (circa 40 m³), dotato di bruciatore autonomo. La capacità del vessel consente di alimentare la turbina con un comburente di composizione e temperatura voluta, infatti, due serbatoi di gas tecnici di notevole capacità e un generatore di vapore, singolarmente connessi al vessel, consentono di ottenere fluidi di composizione chimica, temperatura e pressione variabili, utilizzabili come fluido di lavoro da introdurre nella μ TG.

L'impianto AGATUR può anche essere esercito con μ TG in assetto "stand alone", ovvero completamente svincolata dagli altri sottosistemi, e connettendo la μ TG direttamente al generatore di vapore.

Con AGATUR è possibile implementare cicli turbogas non convenzionali, differenti dal ciclo Brayton puro, ottenibili accoppiando la μ TG al vessel e al generatore di vapore. Con l'intento di incrementare l'efficienza del ciclo di potenza, è possibile per questa via realizzare cicli "a umido" a scala micro, mediante l'iniezione in turbina di vapore od acqua surriscaldata, ottenendo rispettivamente cicli STIG (STeam Injected Gas turbine) o cicli EGT (Evaporative Gas Turbine).

Foto in alto: in primo piano il vessel da 40 m³ che funge da inerzia fluidodinamica del sistema

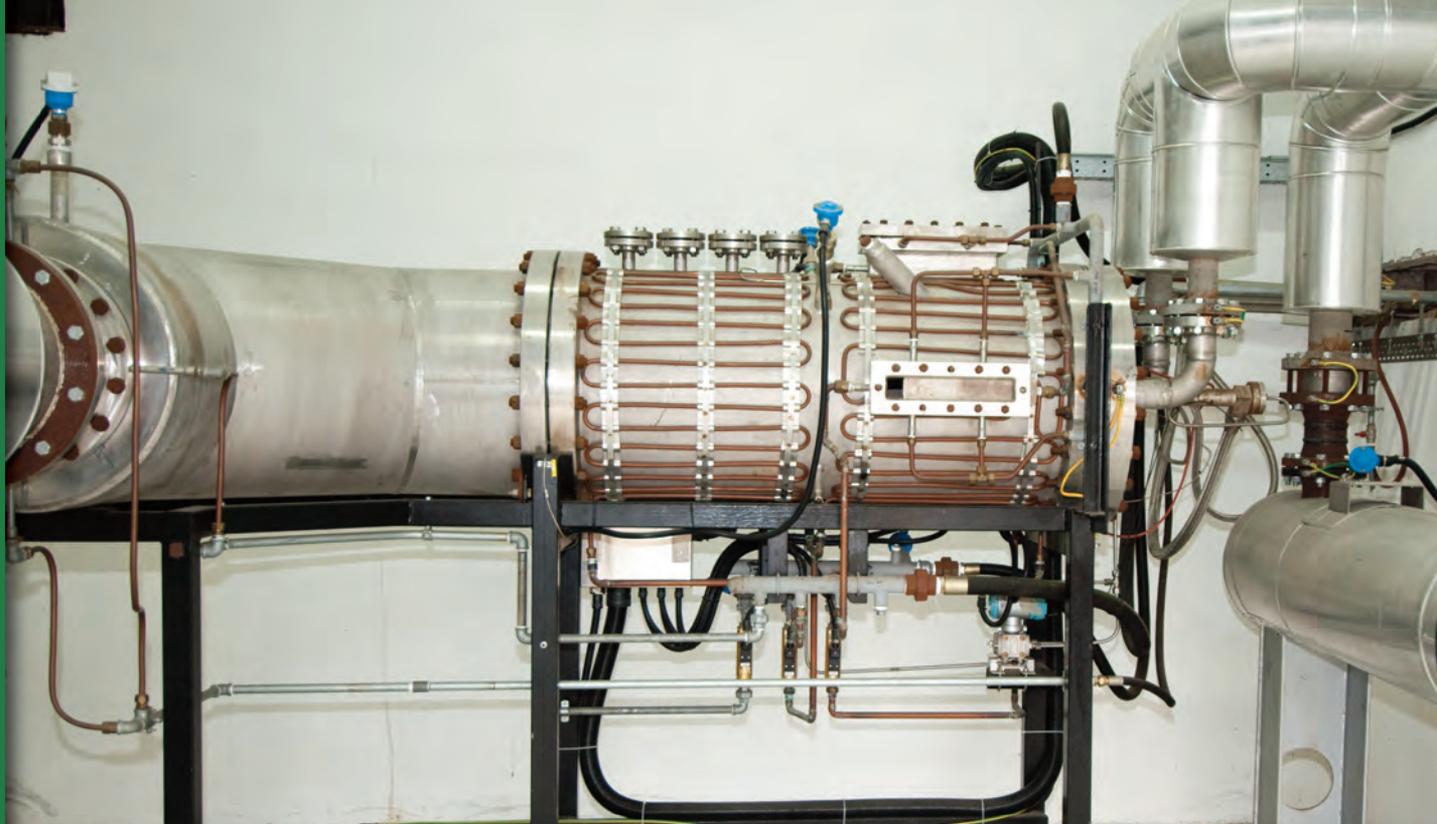
AGATUR è altresì in grado di implementare cicli turbogas basati sulla combustione in atmosfera sintetica CO_2/O_2 con eventuale iniezione di vapore. Il vantaggio principale consiste nella possibilità di estrarre agevolmente la CO_2 generata con la combustione, fortemente concentrata in assenza di Azoto e con produzione praticamente nulla di NO_x , per avviarla al sequestro.



Schema di flusso di un ciclo CO_2/O_2



A sinistra, in primo piano, il generatore di vapore da 700 kWt. A destra la μTG Turbec T100 da 100 kWt

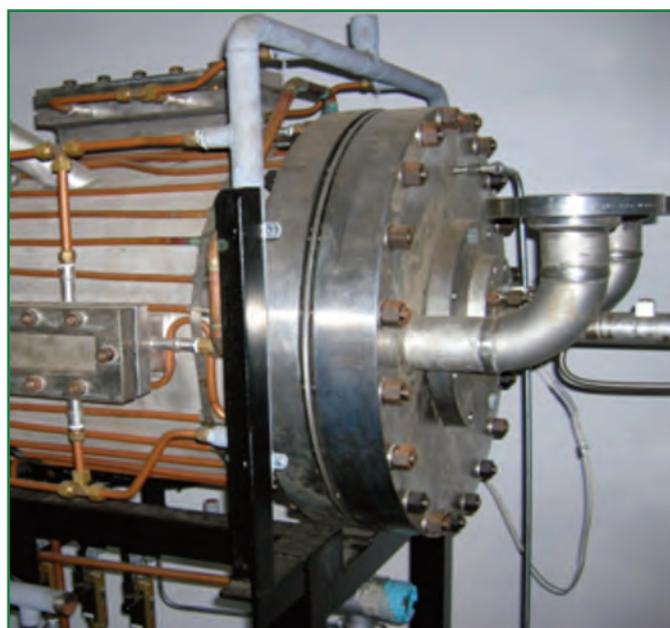


Impianto sperimentale COMET-HP per lo studio dei processi di combustione in turbine a gas

L'impianto COMET-HP (Combustion Experimental Tests – High Pressure) è una facility sperimentale per lo studio dei processi di combustione in turbine a gas, con particolare riferimento alle cause dei fenomeni di instabilità termo-acustica in bruciatori di ultima generazione a fiamma premiscelata, alla caratterizzazione di detti bruciatori, e allo sviluppo di sistemi diagnostici non invasivi e di metodologie di controllo avanzate alternative alle attuali.

Potenziali utenti: operatori del settore energetico; costruttori di macchine; enti di ricerca pubblici e privati.

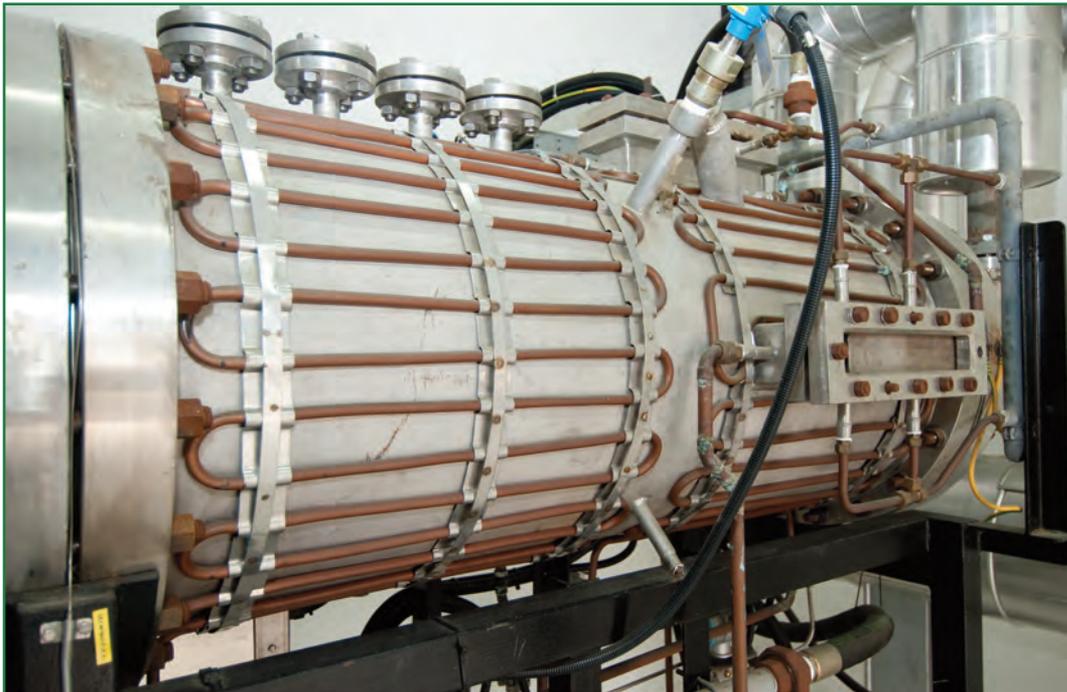
L'impianto opera in condizioni di similitudine, a pressione massima di 7 bar, con preriscaldamento del comburente fino a 450 °C. La sezione di prova è in grado di ospitare bruciatori di potenza massima pari a circa 1 MWt (attualmente è installato un bruciatore ANSALDO Energia per turbina V64-3A), e prevede accessi ottici laterali per l'impiego di diagnostiche non invasive, di tipo ottico e laser, per misure di velocità, stabilità di combustione, temperatura e specie chimiche (sia stabili che "radicaliche").



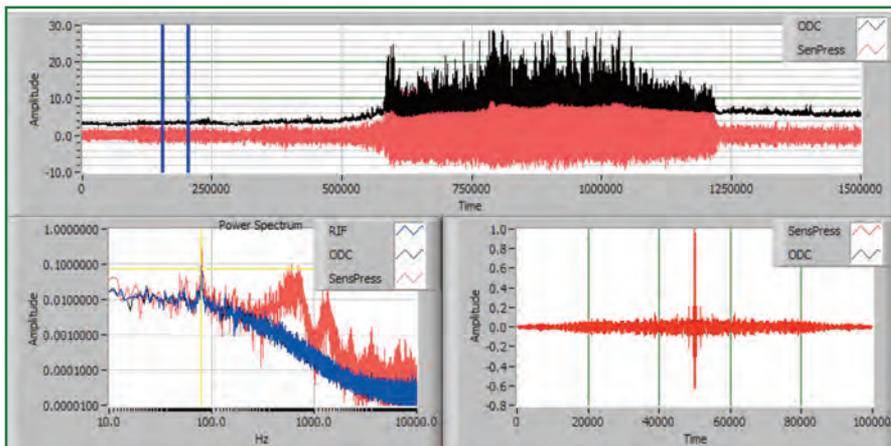
Particolare del bruciatore ANSALDO V64 installato sull'impianto COMET-HP

Foto in alto: vista dell'impianto COMET-HP

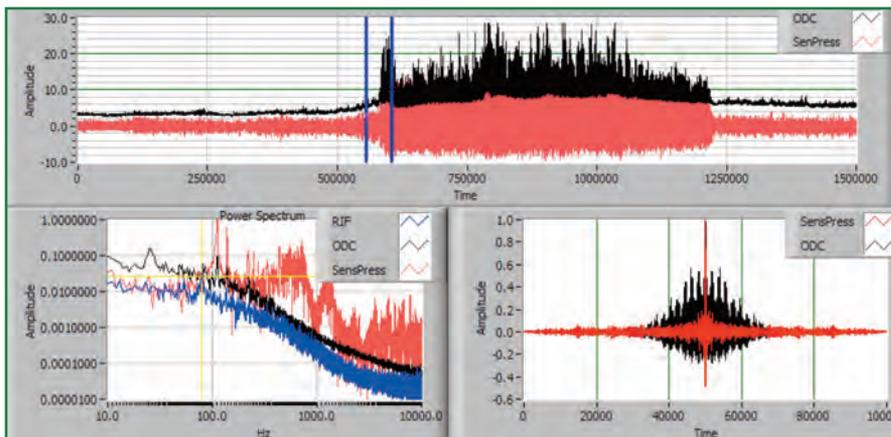
Sull'impianto COMET-HP vengono correntemente utilizzati dispositivi diagnostici avanzati, di brevetto ENEA (ODC[®]), volti alla caratterizzazione fluidodinamica e termica ad alta frequenza del processo di combustione, e al suo controllo.



Particolare della sezione di prova. Sulla destra è visibile uno dei tre accessi ottici per l'impiego di strumentazione non invasiva



Diagnostica ODC. Analisi di stabilità: spettro di energia acustica (rosso) e ottica (nero, direttamente correlata alla turbolenza) ottenuto dal sensore ODC[®]. In condizioni stabili, il segnale ottico è perfettamente sovrapposto al segnale di riferimento (blu), e pertanto non visibile



Diagnostica ODC. Analisi di stabilità: In condizioni di incipiente instabilità termoacustica il segnale nero (ODC[®]) si scosta significativamente dal segnale di riferimento (blu). Il trasduttore di pressione non evidenzia significative variazioni. Tutto ciò rende possibile lo sviluppo di un sistema di controllo in tempo reale delle instabilità di combustione



Galleria aerodinamica subsonica a circuito chiuso

La Galleria aerodinamica subsonica a circuito chiuso è una facility sperimentale per studi di base, qualificazione e taratura fluidodinamica e aeroacustica di componenti e strumentazione.

Potenziali utenti: operatori del settore della fluidodinamica, dell'aerodinamica e dell'aeroacustica; costruttori di macchine; enti di ricerca pubblici e privati.

La camera di prova misura 0,9 m di altezza, 1,16 m di larghezza, 2,5 m di lunghezza. Il campo di velocità all'interno della camera di prova varia tra 0,5 m/s e 90 m/s. Il livello di turbolenza relativo valutato al centro della sezione di prova a una velocità di 40 m/s è pari a 0,1%, corrispondente a un *Sound Pressure Level* (SPL) di 100 db, con una inclinazione del flusso minore di 0,2°. Il flusso, valutato su piani trasversali in termini di velocità longitudinale media e della sua deviazione, è omogeneo e uniforme in tutta la camera di prova. Non sono presenti gradienti di pressione. La temperatura è controllata da un sistema di scambiatori di calore che consente di mantenerla al valore stabilito con variazioni di ± 1 °C nel campo tra 15 °C e 30 °C.



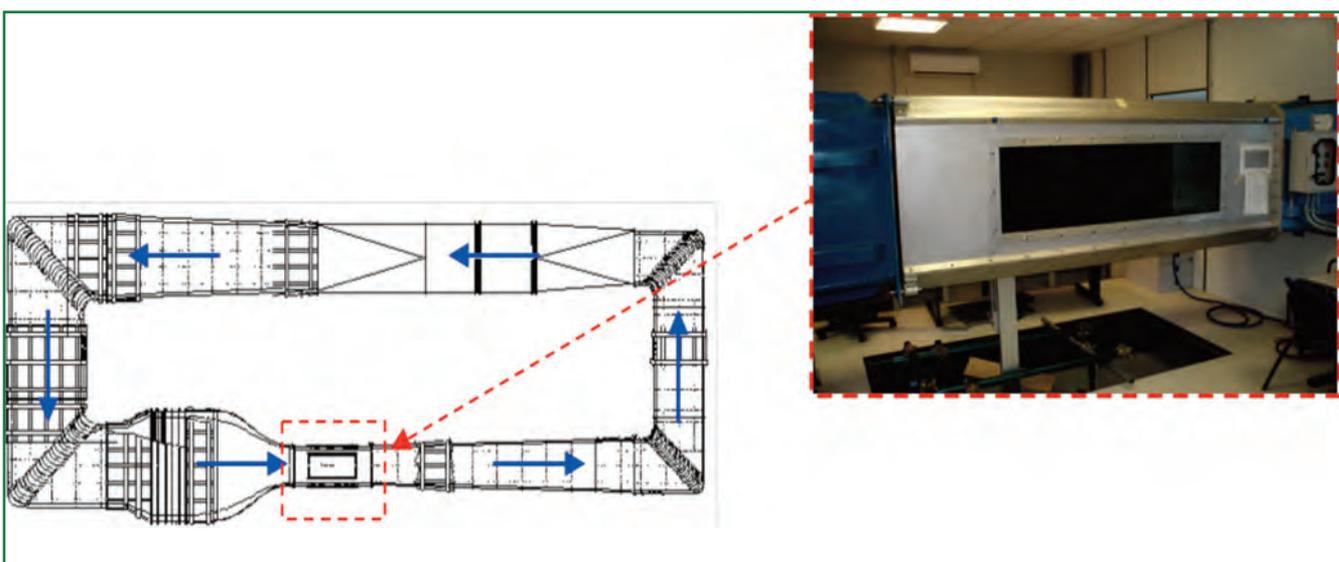
Sistema di regolazione della temperatura

Foto in alto: condotto orizzontale, prima dell'ingresso in camera di prova

Sono disponibili sistemi di anemometria a filo caldo con sonde mono e multi componente, sistemi di misura di pressioni multicanale, sistemi automatici di brandeggio per il posizionamento dei modelli in sezione di prova, sistemi di anemometria laser doppler, bilancia dinamometrica a tre componenti, generatore di fumo per visualizzazioni di flusso, sistemi di acquisizione e processamento dati. Sono inoltre presenti accessi ottici in sezione di prova per consentire misure con anemometria laser doppler e *particle image velocimetry*.

È possibile effettuare la taratura di sensori anemometrici mediante strumentazione certificata.

Presso la Galleria opera un gruppo di lavoro composto da ricercatori e tecnici dell'ENEA e dell'Università di Roma Tre. Il gruppo di lavoro è coinvolto nello sviluppo di nuove tecniche di misura nei campi della termo-fluidodinamica, dell'aerodinamica e dell'aeroacustica e fornisce supporto specialistico alle attività computazionali per la validazione di nuovi codici.



Planimetria dell'impianto e Sezione di prova



Ventilatore



Impianto sperimentale GESSYCA per prove di produzione e trattamento syngas

L'impianto GESSYCA (GEnere Sperimentale di SYngas da CARbone) è una facility sperimentale realizzata per condurre prove di produzione e trattamento di gas di sintesi proveniente dalla gassificazione di carbone e biomasse.

Potenziati utenti: operatori del settore energetico; costruttori di macchine; enti di ricerca pubblici e privati, interessati al settore della conversione termochimica del carbone e delle biomasse, della gassificazione, del trattamento del gas di sintesi e della cattura della CO₂ o impegnati nello sviluppo di tecnologie attinenti.

L'impianto è costituito da un gassificatore a letto fisso *updraft* di potenzialità pari a circa 20 kWt per 3 kg/h di carbone. Completano la dotazione dell'impianto la sezione di trattamento del gas prodotto (costituita da un ciclone, un filtro, una torcia di smaltimento), la sensoristica industriale dedicata e un'unità di campionamento e analisi.

Il sistema è rivolto all'approfondimento di aspetti tecnologici e sperimentali relativi alla gassificazione del carbone in modo da definire aspetti procedurali nella gestione del processo, risolvere problematiche di esercizio, testare componentistica e sensoristica di corredo. Per quanto riguarda invece il trattamento del syngas le attività si focalizzano sulla purificazione da particolato, tar e zolfo, sulla conversione della composizione chimica e sulla cattura della CO₂.

Foto in alto: vista dell'impianto sperimentale GESSYCA

Il sistema permette:

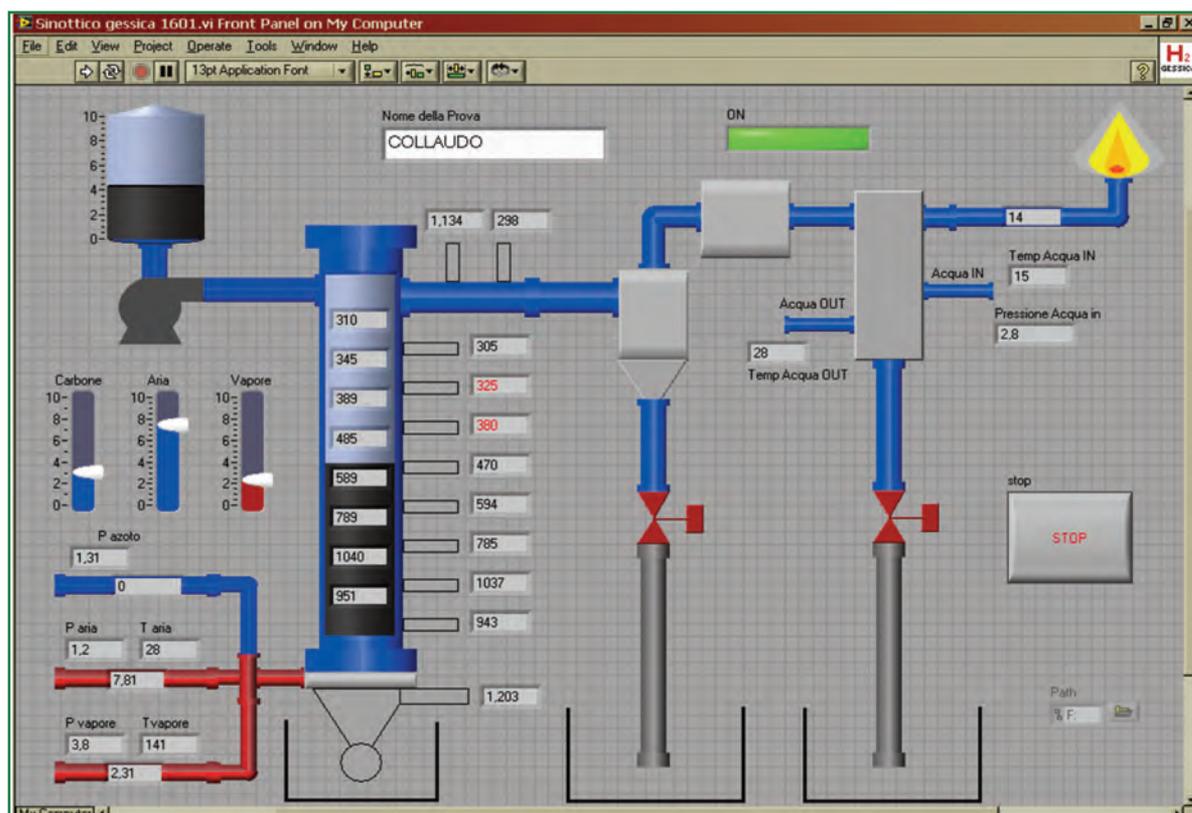
- la caratterizzazione del processo di gassificazione alimentato da differenti tipologie di carbone;
- la definizione di procedure di start-up e shut-down.

Tra i risultati significativi si cita:

- la progettazione di un innovativo sistema di scarico delle ceneri;
- lo sviluppo di sensoristica innovativa per la misura del livello del letto interno al reattore.



Particolare dell'impianto sperimentale GESSYCA relativo al Gassificatore



Impianto GESSYCA - Sinottico sistema di controllo



Impianto sperimentale IDEA per lo studio della combustione di syngas ricchi di idrogeno

L'impianto IDEA (IDrogeno Experimental Activities) è una facility sperimentale realizzata per condurre esperienze di base sulla combustione di syngas ricchi di idrogeno, fino a idrogeno puro. L'impianto opera a pressione atmosferica e utilizza come comburente aria o ossigeno, eventualmente diluiti con vapore.

Potenziali utenti: operatori del settore energetico; costruttori di macchine; enti di ricerca pubblici e privati.

L'impianto IDEA ha una sezione di prova, verticale, che può ospitare bruciatori di potenza massima pari a 100 kWt ed è dotata di accessi ottici laterali per l'impiego di diagnostiche non invasive di tipo ottico e laser per misure di velocità, stabilità di combustione, temperatura e specie chimiche (sia stabili che "radicaliche").

Gli studi hanno la finalità di sviluppare e mettere a punto soluzioni progettuali per una combustione stabile ed efficiente di combustibili a basso potere calorifico in volume, quali vari "combustibili di opportunità", ricchi di idrogeno, o syngas provenienti dalla gassificazione del carbone in



Sezione di prova dell'impianto IDEA

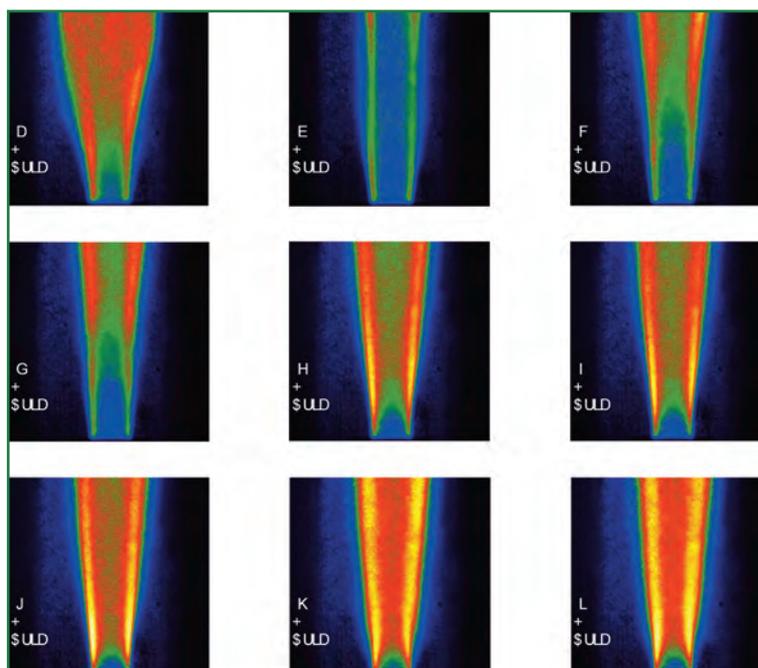
Foto in alto: particolare di una delle finestre in quarzo per diagnostiche ottiche e laser

sistemi a "CO₂ capture". L'impianto è quindi un utile strumento per lo sviluppo di bruciatori innovativi.

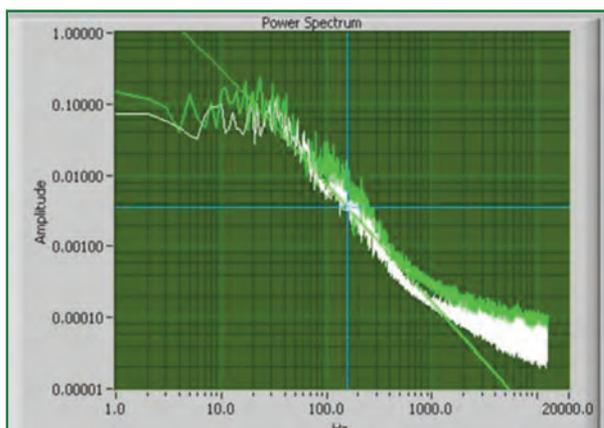
Sull'impianto IDEA vengono correntemente utilizzati dispositivi diagnostici avanzati, di brevetto ENEA (ODC[®]), volti alla caratterizzazione fluidodinamica e termica ad alta frequenza del processo di combustione, e al suo controllo.



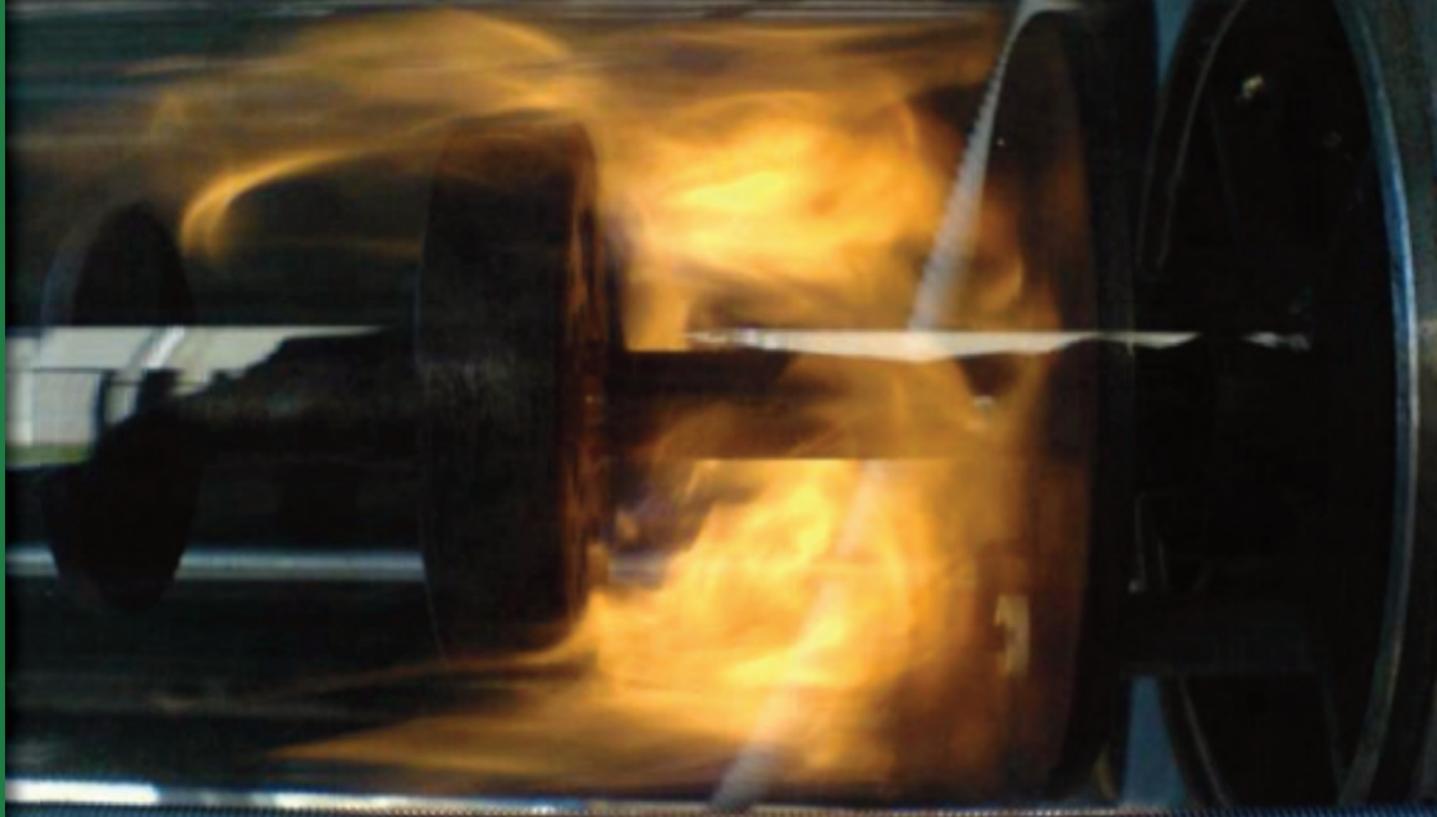
Accesso multi-strumentato con sensori ottici ODC[®] per misure di stabilità di combustione e velocità



Combustione di idrogeno: concentrazione di OH, al variare del rapporto relativo combustibile-comburente, attraverso misure di chemiluminescenza spontanea



Analisi di stabilità: spettro di energia cinetica in condizioni di combustione stabile (bianco) e instabile (verde) ottenute con sistema ottico ODC[®]



Impianto sperimentale MICOS per sviluppo di bruciatori operanti con combustibili convenzionali o syngas

L'impianto MICOS (Multipurpose Installation for COmbustion Studies) è una facility sperimentale per lo sviluppo di bruciatori basati su tecnologia "Trapped Vortex" per le turbine a gas e i sistemi a post-combustione, operanti con combustibili convenzionali o syngas, fino all'impiego di idrogeno puro. L'impianto opera a pressione atmosferica e utilizza come comburente aria preriscaldata o aria viziata, ottenuta cioè miscelando aria fresca con prodotti di combustione.

Potenziali utenti: operatori del settore energetico; costruttori di macchine; enti di ricerca pubblici e privati.

La tecnologia "Trapped Vortex", sperimentata sull'impianto, consiste nella realizzazione di un forte ricircolo di prodotti di combustione, ottenuto per via fluidodinamica o ricircolando direttamente parte dei prodotti di combustione in zona primaria. L'effetto che si vuol realizzare è quello di ottenere una fiamma stabilmente ancorata, caratterizzata da basse perdite di carico, che brucia con un comburente caratterizzato da un

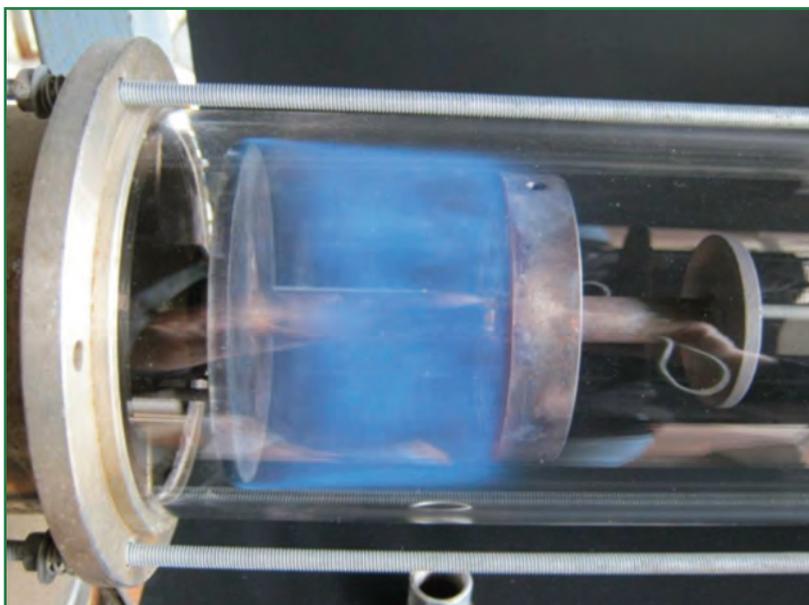
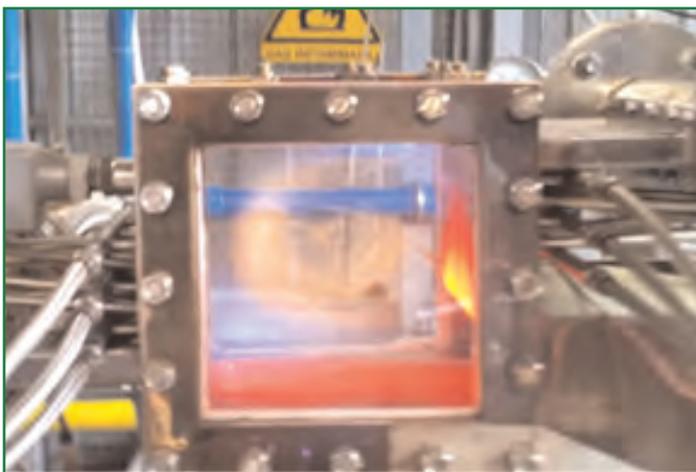


Immagine del bruciatore in funzione in regime di combustione omogenea

Foto in alto: immagine del bruciatore in funzione in regime diffusivo

tenore di ossigeno significativamente inferiore a quello stechiometrico dell'aria. Si realizzano in tal modo condizioni di combustione "flameless", cioè caratterizzata da assenza del fronte di fiamma (bassissime emissioni di NOx), elevata stabilità e controllabilità, che rendono tecnologicamente compatibile anche la combustione di idrogeno puro nel rispetto degli stress termici ammissibili dai materiali.

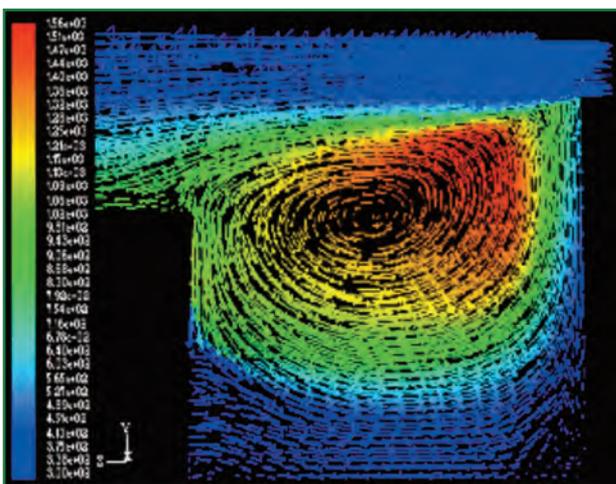
L'impianto MICOS ha una potenza nominale di 100 kWt, e può essere alimentato con gas naturale, idrogeno, miscele dei due o gas di sintesi a composizione variabile. In virtù della sua configurazione, può essere utilizzato anche come banco prova per applicazioni di post-combustione, ovvero combustione di gas in corrente di gas esausti provenienti da una turbina a gas. Sull'impianto vengono correntemente utilizzate diagnostiche non invasive di tipo ottico e laser, anche di brevetto ENEA (sistema ODC®), volte alla caratterizzazione fluidodinamica, termica e chimica del processo, e al suo controllo.



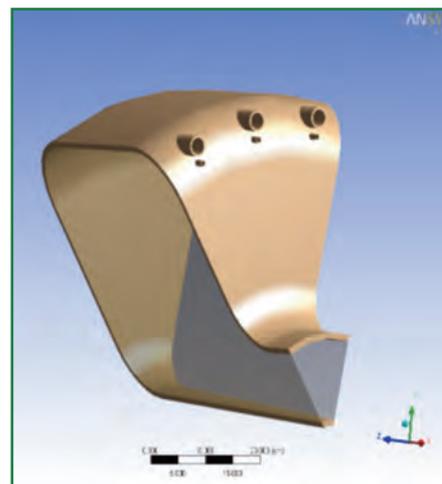
Particolare della sezione di prova



Vista dell'impianto



Simulazione termo-fluidodinamica della reazione nella cavità del bruciatore Trapped Vortex di prima generazione



Settore di un bruciatore Trapped Vortex di nuova concezione (ENEA) per turbina a gas di potenza



Impianto sperimentale ZECOMIX per tecnologie “Zero Emission”

L’impianto ZECOMIX (Zero Emission COal MIXed technology) è una complessa piattaforma sperimentale per lo studio e la messa a punto di processi di idrogassificazione del carbone, di simultaneo reforming-shift e decarbonizzazione del syngas grezzo, con produzione di syngas ad alto contenuto di idrogeno e suo successivo utilizzo energetico.

Potenziali utenti: operatori del settore energetico; costruttori di macchine; enti di ricerca pubblici e privati.

L’impianto ZECOMIX consente lo studio e la valutazione di un complesso mix di diversi processi, dalla gassificazione del carbone alla pulizia del syngas, alla cattura e sequestro della CO₂, alla combustione del syngas ricco di idrogeno in turbina a gas, la cui integrazione rappresenta il fattore chiave delle sue elevate prestazioni energetiche. Coniugando infatti un processo di decarbonizzazione e clean-up del syngas, per una innovativa cattura contemporanea della CO₂ e dell’H₂S ad elevata temperatura mediante sorbenti solidi, ad un ciclo termodinamico H₂/O₂/vapore ad elevata efficienza, ZECOMIX realizza un rendimento di almeno dieci punti superiore a quello dei migliori impianti a carbone con tecnologia di cattura post-combustion realizzabili con le attuali tecnologie.



Reattore Carbonatore/Calcinatore

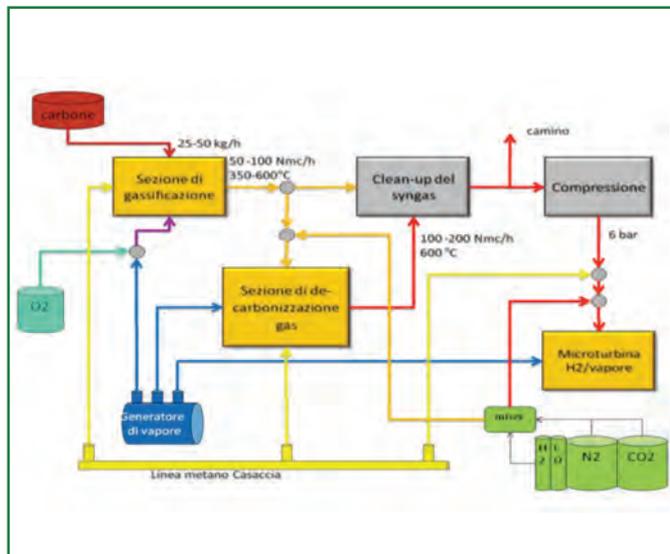
Foto in alto: vista d’insieme dell’impianto ZECOMIX

La piattaforma è concepita come più sezioni sperimentali indipendenti, ciascuna in grado di studiare un singolo aspetto del processo, e solo successivamente strutturabile come piattaforma integrata.

Gassificatore a Letto Fluido

Consente lo studio delle seguenti tematiche:

- clean-up interno del syngas (tar, H₂S);
- messa a punto dell'alimentazione con agenti gasificanti quali vapore e O₂ ad alta temperatura;
- analisi della fluidizzazione del letto, con particolare riferimento ai reagenti, agli inerti e ai catalizzatori;
- sviluppo di modellistica per lo studio e la simulazione delle modalità operative, modellistica del letto fluido e integrazione con il carbonatore;
- problematiche di esercizio quali: caricamento carbone, start-up dell'impianto, scarico delle ceneri e diagnostica.



Schema semplificato della piattaforma sperimentale ZECOMIX

Carbonatore

Permette la messa a punto delle seguenti tecnologie:

- cattura della CO₂ mediante assorbimento ad elevata temperatura;
- cattura contemporanea di CO₂ e H₂S con sorbenti solidi ad alta temperatura;
- reforming e CO shift con contemporanea decarbonizzazione del syngas;
- cattura post-combustion della CO₂;
- sviluppo di modellistica per lo studio e la simulazione delle modalità operative, di modellistica propria del letto fluido e per l'integrazione con il gassificatore e la turbina a gas.

Consente inoltre lo studio delle seguenti problematiche di esercizio:

- messa a punto del ciclaggio calcinazione/lavaggio/carbonatazione;
- caricamento degli additivi (catalizzatore);
- diagnostica;
- controllo delle caratteristiche termochimiche del syngas.

Microturbina

Consente l'approfondimento di un tema strategico quale la combustione di syngas ricchi di idrogeno.

Permette lo sviluppo di modellistica per lo studio e la simulazione delle modalità operative, e lo sviluppo di un modello dinamico del componente. Consente infine l'approfondimento di importanti problematiche di esercizio legate a:

- transizione metano/syngas;
- elevate temperature di combustione;
- controllo della stabilità di esercizio;
- sviluppo di diagnostica avanzata per il monitoraggio ed il controllo;
- produzione energia elettrica e sua immisione in rete.



Impianto ZECOMIX: microturbina

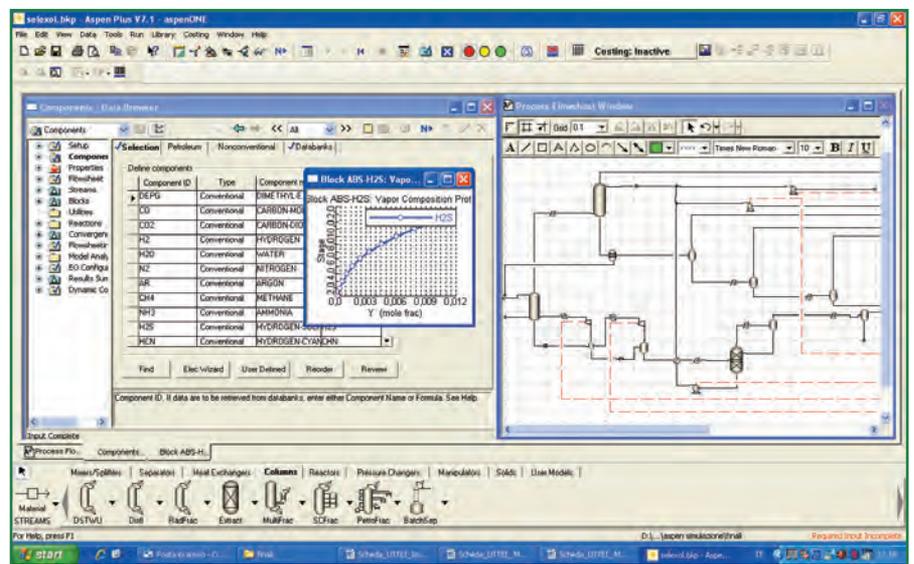


Laboratorio Analisi e ottimizzazione di impianti e processi energetici

Il laboratorio Analisi e ottimizzazione di impianti e processi energetici effettua modellazione e simulazione statica e dinamica di cicli termodinamici, impianti e processi energetici attraverso software di tipo industriale ampiamente utilizzati in ambito internazionale (ChemCAD®, AspenPlus®, Matlab®) e, ove necessario, attraverso lo sviluppo di modelli ad-hoc completamente integrabili nelle comuni piattaforme di calcolo commerciali.

Potenziati utenti: aziende e centri di ricerca operanti nel settore energetico.

Gli impianti energetici hanno raggiunto un livello di complessità tale da richiedere un approccio multidisciplinare all'analisi e all'ottimizzazione dei processi al fine di individuarne gli aspetti più importanti, risolvere le problematiche che si incontrano e introdurre le opportune migliorie. La modellazione e la simulazione rappresentano uno strumento agile ed economico che consente di caratterizzare i processi



Analisi e Ottimizzazione di Impianti e Processi CTL in AspenPlus®

Foto in alto: il laboratorio

individuandone i principali parametri operativi e prestazionali, è in particolare possibile:

- effettuare valutazione riguardo ai parametri tecno-economici;
- analizzare le alternative tecnologiche di impianti, processi e componenti;
- analizzare e definire l'integrazione dei processi di conversione energetica coi processi produttivi;
- sviluppare nuovi processi.

Applicazioni ulteriori sono quelle di supporto alla progettazione di componenti e sistemi, di definizione delle matrici sperimentali e di validazione dei modelli.

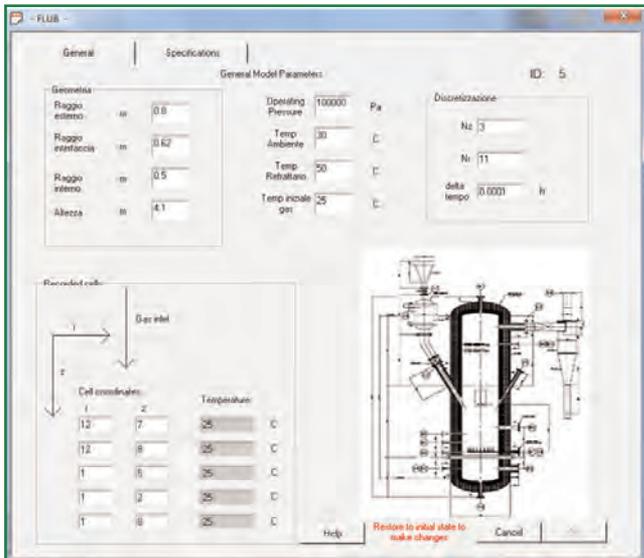
Tra i principali risultati conseguiti si citano:

- l'analisi e l'ottimizzazione di cicli termodinamici innovativi;
- la modellazione di impianti e processi di produzione elettrica da combustibili fossili integrata con tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂;
- lo studio di reti di scambio termico;
- l'integrazione con sistemi a fonti rinnovabili.

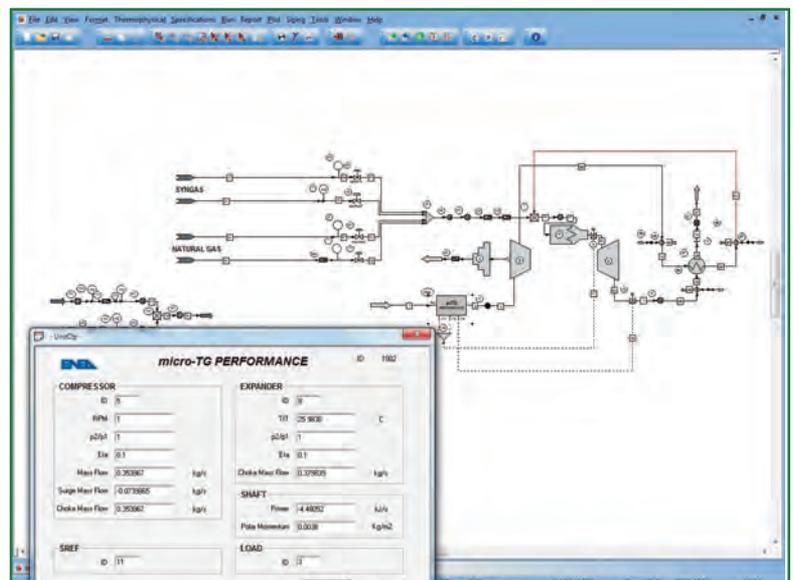
I risultati più recenti riguardano:

- l'ottimizzazione tecno-economica di un impianto di produzione di combustibili liquidi da carbone in ambiente AspenPlus®;
- lo sviluppo di modelli totalmente integrati nella piattaforma ChemCAD® per la

simulazione dinamica di turbine a gas e di reattori a letto fluido per la separazione della CO₂ attraverso l'uso di sorbenti ad alta temperatura.



Modello di un reattore a letto fluido sviluppato in Matlab® e C++ ed integrato in ChemCad®



Modello di un impianto turbogas integrato in ChemCad®



Laboratorio CHI.PR.E. per studi di chimica dei processi energetici

Il laboratorio CHI.PR.E. (CHImica dei PRocessi Energetici) dispone di competenze e attrezzature per lo studio e sviluppo di processi chimici legati alla produzione di energia, a supporto delle attività finalizzate all'uso sostenibile dei combustibili fossili.

Potenziali utenti: Enti di ricerca pubblici e privati; industrie del settore energetico.

Il Laboratorio dispone di competenze e strumenti per la caratterizzazione di combustibili solidi, liquidi e gassosi, nonché per la conduzione attività di ricerca, sempre afferenti all'aspetto chimico/ingegneristico, volte allo studio di:

- processi e tecnologie innovative per la cattura della CO₂;
- processi per la valorizzazione della CO₂;
- pirolisi e gassificazione del carbone con successivo trattamento per la purificazione del syngas prodotto.

Il laboratorio CHI.PR.E. è dotato di numerosa strumentazione tra cui:

- Analizzatore elementare C/H/N/S (Leuco Tru Spec);
- Spettrometri FTIR (Varian 640, Varian Scimitar 1000, Gasmeter 4000);
- Autochem 2940 HP (Micromeritics);
- Termobilancia TGA/DSC (Mettler-Toledo);
- Micro-gascromatografo (Varian 4900);
- Cromatografo Ionico (Metrohm 761 Compact IC);

Foto in alto: vista del banco di strumentazione analitica con FT-IR, Titolatore, Cromatografo Ionico, Polarografo, Densimetro per liquidi (a 5 decimali)

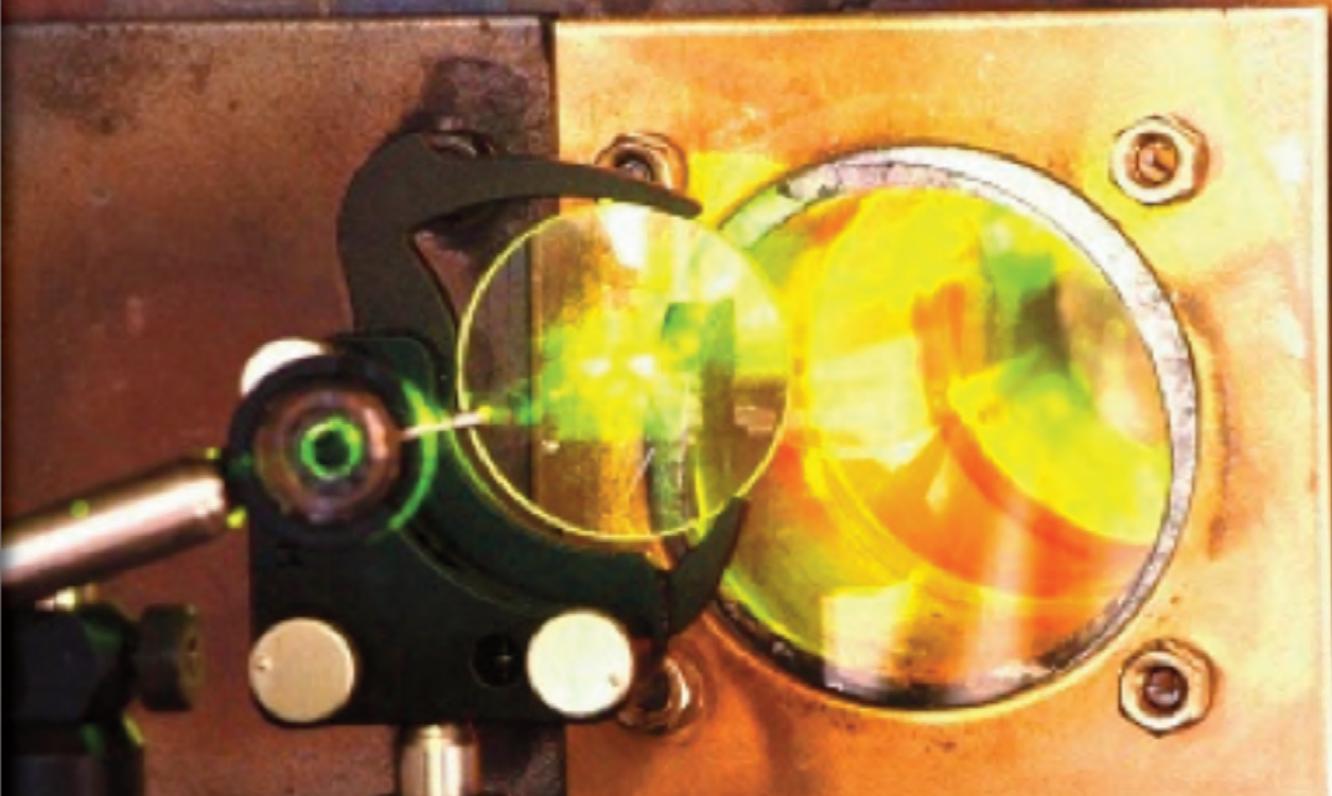
- Polarografo (Metrohm 757 VA Computrace);
- Reattore per alta pressione (Parr 4560);
- Spettrometro di Massa (Airsense)
- Misuratore di densità (Mettler-Toledo DE45);
- Flussimetri di massa, unità di controllo (MKS, Bronkhorst);
- Forni tubolari per temperature fino a 1200 °C (Carbolite);
- Titolatore (Metrohm 809 Titrando);
- Dosatore (Metrohm 876 Dosimat plus).



Reattore metallico per alte pressioni (400 °C, 200 bar)



Forno tubolare (1200 °C) con reattore in quarzo per lo studio della reazione di metanazione da CO₂ e H₂ con flussimetri di massa e gascromatografo



Laboratorio Diagnostica laser per la combustione

Il laboratorio Diagnostica laser per la combustione è dedicato all'applicazione di tecnologie sperimentali, di tipo non invasivo, per studio, caratterizzazione e controllo di processi di combustione. Dispone sia delle competenze teoriche di fluidodinamica e chimica della combustione sia delle capacità sperimentali per lo sviluppo di tecnologie diagnostiche per la caratterizzazione termo-fluidodinamica e chimica di processi e dispositivi.

Potenziati utenti: operatori del settore energetico; enti di ricerca pubblici e privati; università.

Le diagnostiche sono finalizzate alla ottimizzazione energetica e ambientale dei processi di combustione. Sono possibili misure ad alta risoluzione, sia spaziale sia temporale, di velocità, temperatura e specie chimiche, anche in condizioni di combustione turbolenta, tipica dei sistemi industriali, nonché l'analisi della stabilità di combustione. Vengono utilizzate sorgenti laser esterne, ove non sia analizzata direttamente l'emissione ottica della fiamma stessa, nel visibile e nell'ultravioletto. La remotizzazione del punto di misura grazie all'uso di elementi ottici (specchi, fibre ottiche ecc.) permette di superare i problemi di

Segnale ottico di spettroscopia CARS, in funzione della frequenza (o energia), per la molecola di idrogeno. I segnali sono in corrispondenza biunivoca con la temperatura del gas (riportata in gradi Kelvin), per questo motivo la tecnica si presta particolarmente a misure termometriche nelle fiamme

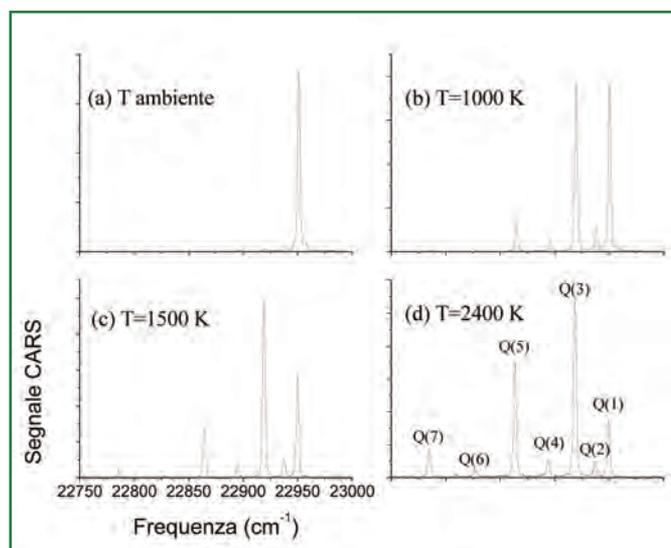


Foto in alto: particolare di attrezzature per le diagnostiche

accesso. In relazione alla tecnica impiegata, si impone il prelevamento del segnale tramite accessi che possono raggiungere dimensioni minime dell'ordine del mm^2 . La tendenziale portabilità delle diagnostiche rende possibile la sperimentazione su facility ENEA o di partner.

Le tecniche di misura possono essere classificate in tre macro aree:

Termometria

- Diffusione di Rayleigh: consente di ottenere mappe bidimensionali di temperatura.
- Diffusione di Raman e CARS (Coherent Anti-Stokes Raman Scattering): rende possibili misure di tipo puntuale della temperatura.

Rilevazione di specie chimiche

- Chemiluminescenza: emissione spontanea di luce da parte di specie radicaliche come OH e CH.
- LIF (Laser Induced Fluorescence): consente di ottenere immagini bidimensionali dell'emissione di fluorescenza delle principali specie radicaliche OH, CH, C_2 , CN, NH.
- Diffusione Raman: permette la rilevazione simultanea di più specie chimiche quali azoto, ossigeno, acqua e i principali idrocarburi (metano, etano, propano, butano, acetilene, benzene ecc.).
- Metodi non lineari tipo CARS, DFWM (Degenerate Four-Wave Mixing) o PS (Polarization Spectroscopy) per misure di temperatura e concentrazione di specie chimiche.

Velocimetria

- LDA (Anemometria Laser Doppler): consente la determinazione locale della velocità e turbolenza del fluido.
- PDA (Phase Doppler Anemometry): consente la caratterizzazione dimensionale di particelle insemi nanti (tipicamente bolle, gocce, particelle).
- PIV (Particle Image Velocimetry): consente di ottenere il campo vettoriale bidimensionale di velocità di un fluido.

Si cita infine il "sistema ODC[®]", strumento ottico brevettato da ENEA per il monitoraggio delle condizioni operative di combustori e l'identificazione in tempo reale di fenomeni precursori di instabilità; può essere usato come sensore in loop di controllo per limitare le instabilità del sistema e aumentarne l'efficienza; è utilizzabile in ambienti aggressivi, ad alta temperatura, in condizioni di pressione anche elevata.

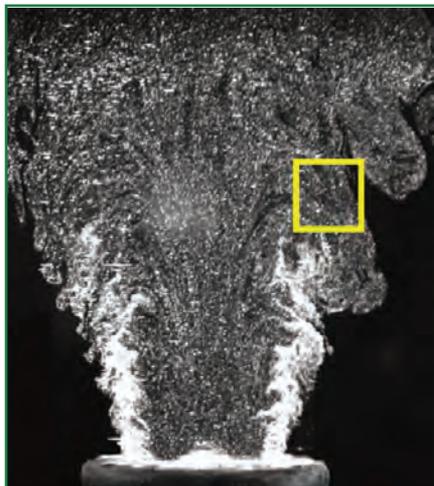
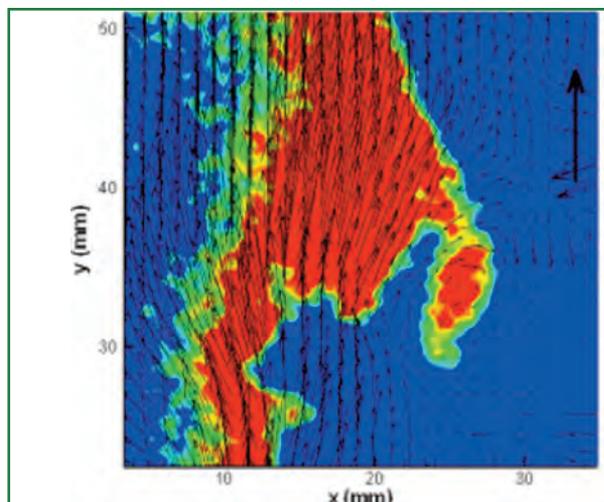


Immagine di una fiamma turbolenta insemi nantata con tracciante. La variazione di densità del tracciante è determinata dal fronte di fiamma (le zone a minor densità corrispondono ai reagenti; quelle a maggior densità indicano l'avvenuta combustione)



Particolare della zona in riquadro con sovrapposizione tra il campo di velocità (vettori) e quello di concentrazione di una specie chimica (radicale OH) che individua il processo di combustione (falsi colori)



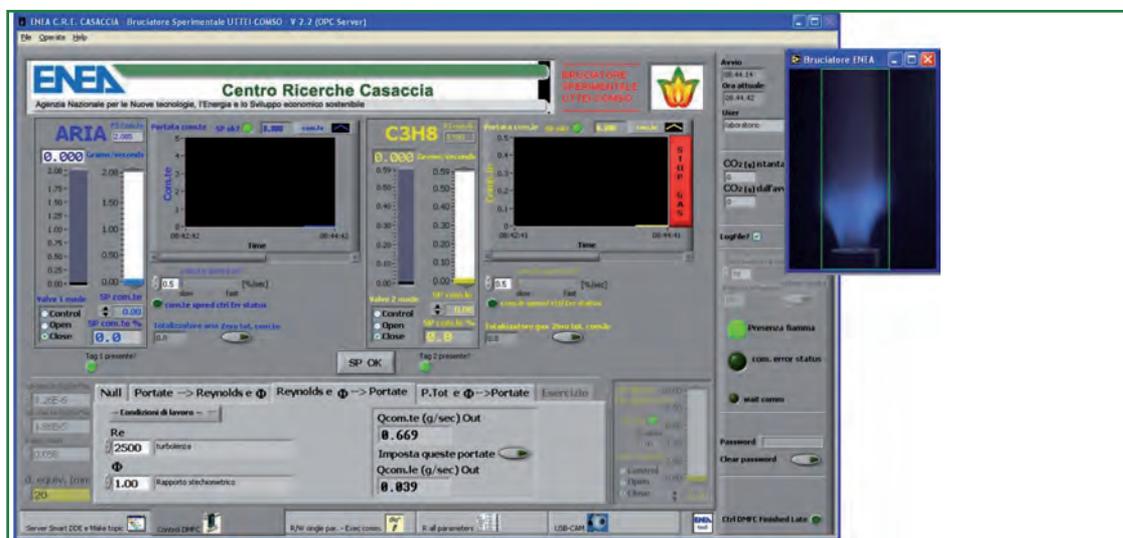
Supervisione e controllo di processi e impianti

Il laboratorio di supervisione e controllo di processi e impianti offre supporto allo sviluppo di sistemi SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) su impianti sperimentali e industriali.

Potenziali utenti: aziende e centri di ricerca.

Il supporto ingegneristico offerto dal laboratorio riguarda in particolare lo svolgimento delle seguenti attività:

- produzione di specifiche e realizzazione di sistemi "SCADA", destinati al con-



Sistema di controllo per bruciatore sperimentale – Interfaccia operatore

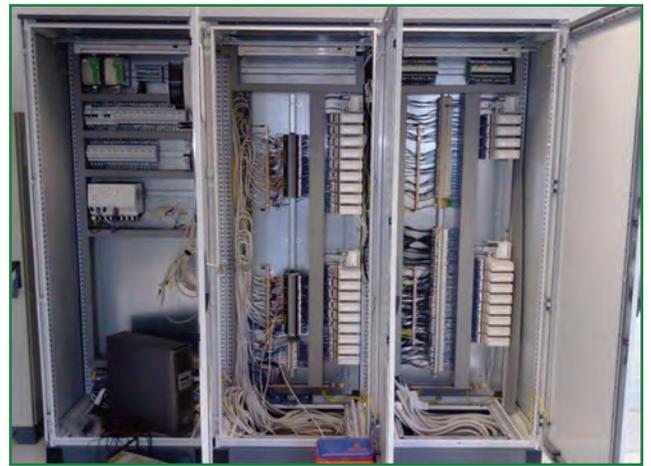
Foto in alto: sala controllo, stazione operatore dell'Impianto ZECOMIX – ENEA Casaccia

trollo di impianti in fase di progetto;

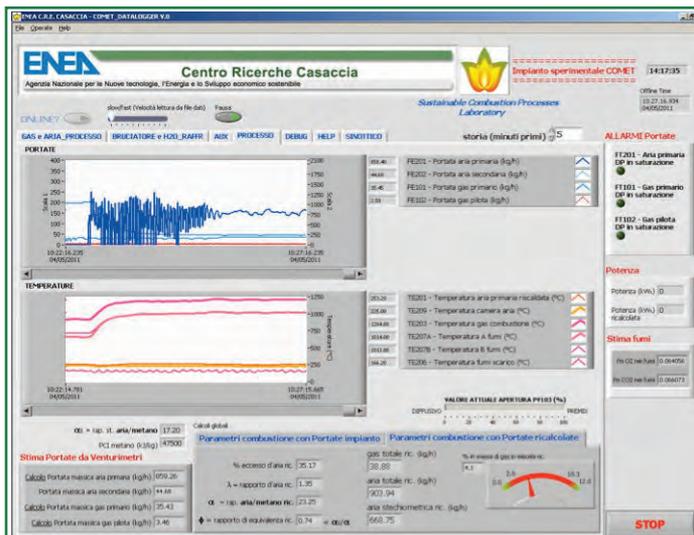
- integrazione e comunicazione tra sistemi diversi attraverso l'utilizzo di protocolli industriali su impianti esistenti;
- realizzazione di strumenti SW per la supervisione e il supporto per l'operatore di impianto.

Sono presenti competenze specifiche per i seguenti ambienti di sviluppo:

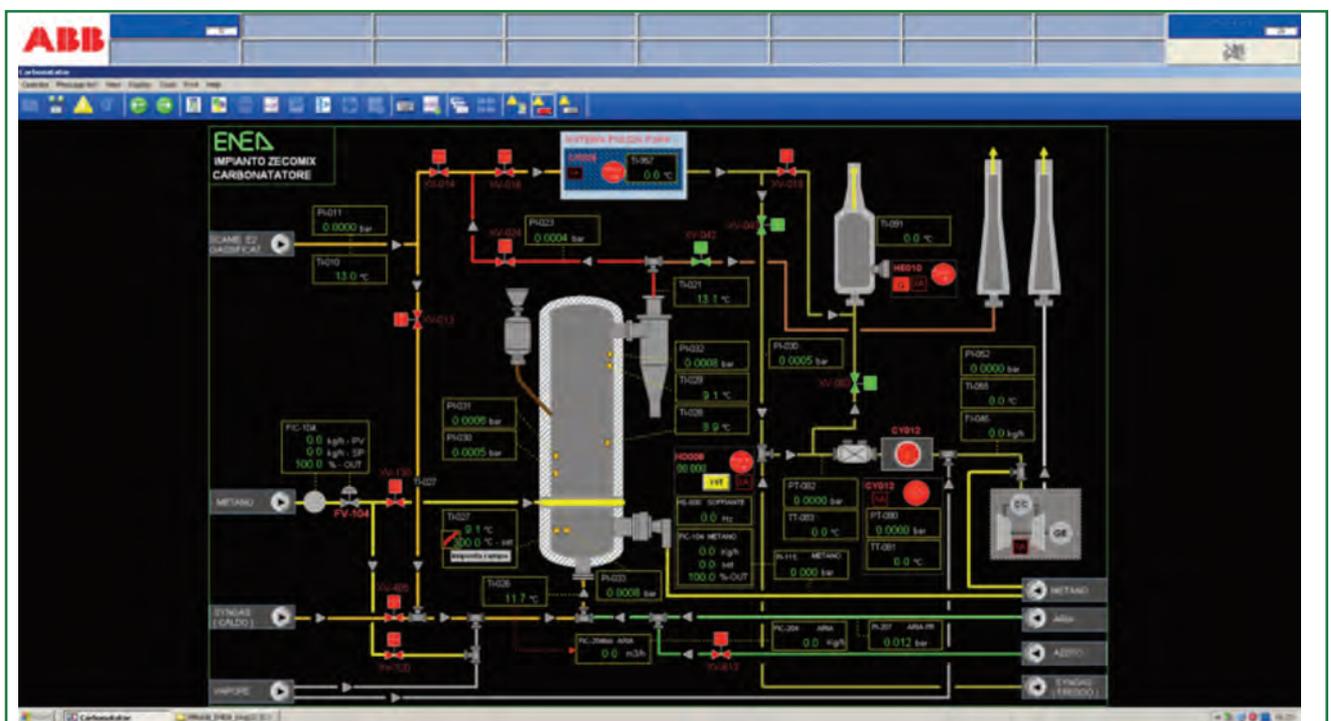
- LabVIEW – National Instruments (sviluppo);
- Freelance – ABB (sviluppo);
- SIMATIC Step7 – SIEMENS (utente);
- protocolli industriali OPC, modbus, HART (utente).



Impianto ZECOMIX – ENEA Casaccia: quadro di collegamento tra impianto e sistema di supervisione e controllo



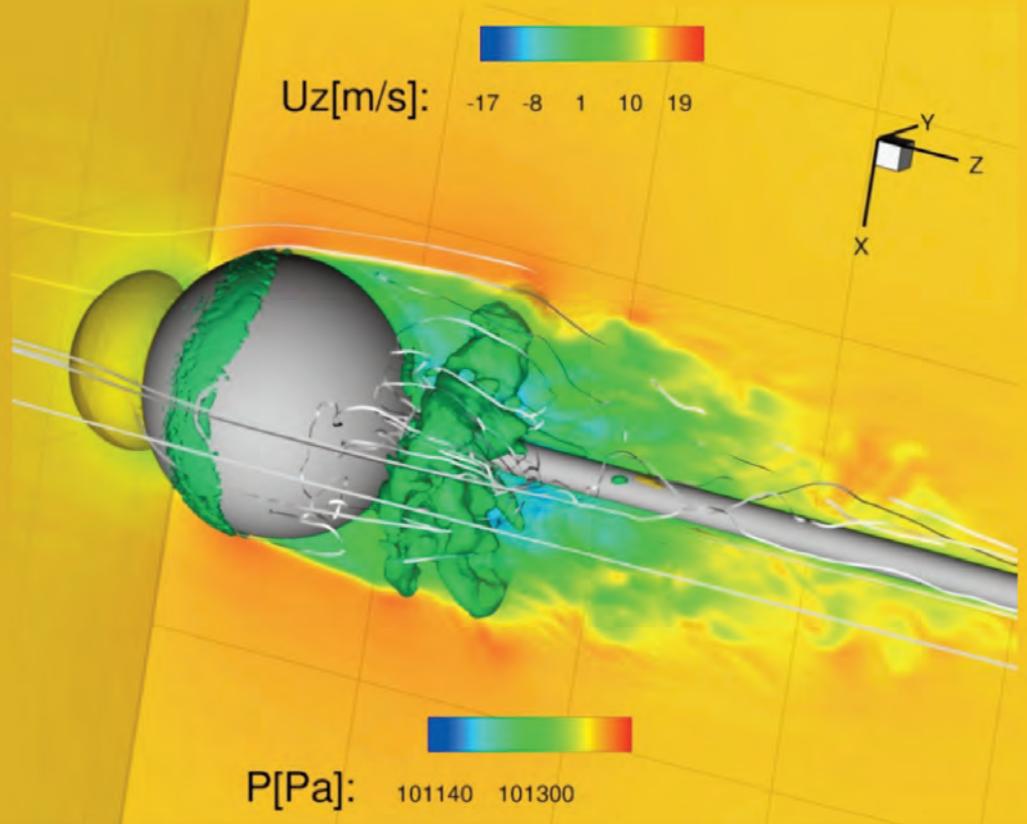
Impianto COMET HP – ENEA Casaccia: interfaccia operatore del datalogger



Impianto ZECOMIX – ENEA Casaccia: interfaccia operatore

Referente

Caterino Stringola
caterino.stringola@enea.it
 Mirko Nobili
mirko.nobili@enea.it



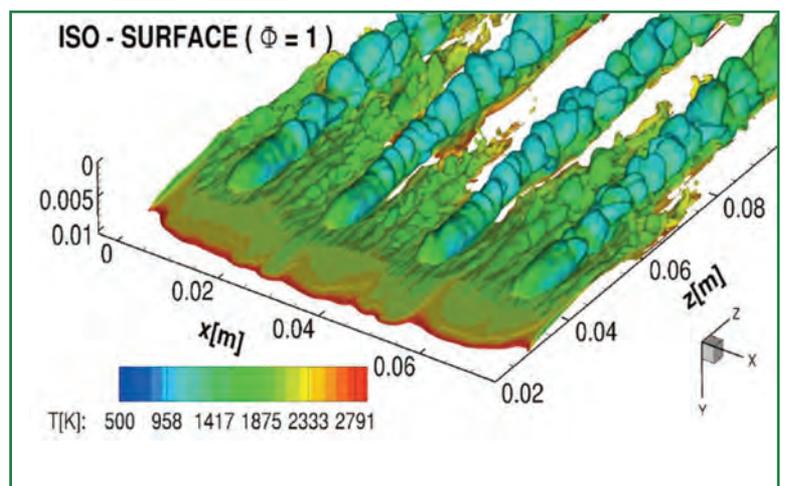
Laboratorio di termofluidodinamica computazionale

Il laboratorio di termofluidodinamica computazionale svolge attività di R&S nel campo della modellazione e simulazione numerica di processi di combustione finalizzate all'aumento di efficienza e riduzione dell'impatto ambientale di sistemi e componenti. Offre supporto allo studio e alla progettazione di tecnologie e tecniche di controllo di processi di combustione.

Potenziali utenti: soggetti industriali operanti nel settore energetico e aerospaziale.

Il Laboratorio si avvale sia di propri codici di calcolo parallelo, sia di codici 'open source' (OpenFOAM) e commerciali (FLUENT, CHEMKIN), utilizzando la piattaforma di HPC CRESCO della GRID ENEA.

Le competenze modellistiche e ingegneristiche, le infrastrutture sperimentali e diagnostiche, e le infrastrutture ad elevato parallelismo, hanno permesso lo sviluppo di un codice CFD (Computational Fluid Dynamics), denominato HeaRT (Heat Release and Turbulence), per la simulazione numerica non stazionaria (Large Eddy Simulation, LES) di processi di combustione di miscele mono e multifase, in regime subsonico



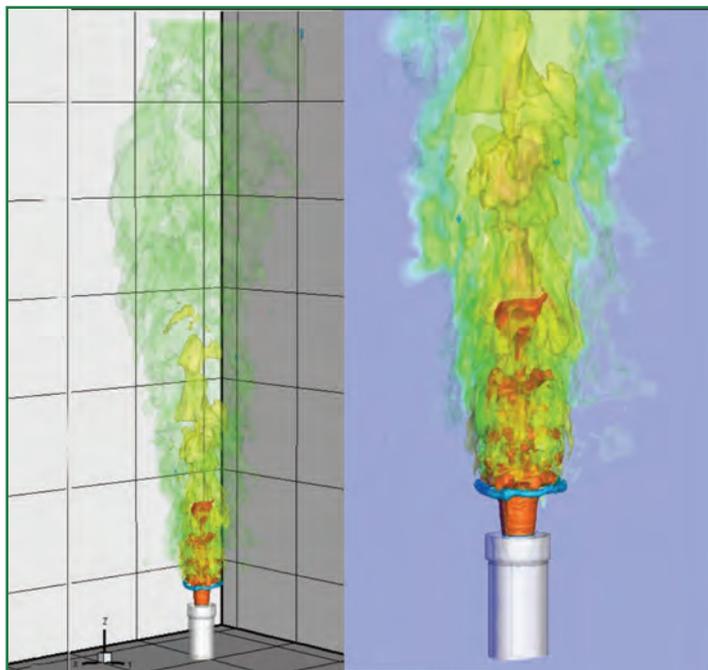
Iso-superficie stechiometrica colorata con la temperatura della camera di combustione di Hyshot II scramjet (supersonic combustion ramjet)

Foto in alto: flusso turbolento di aria intorno ad una sfera

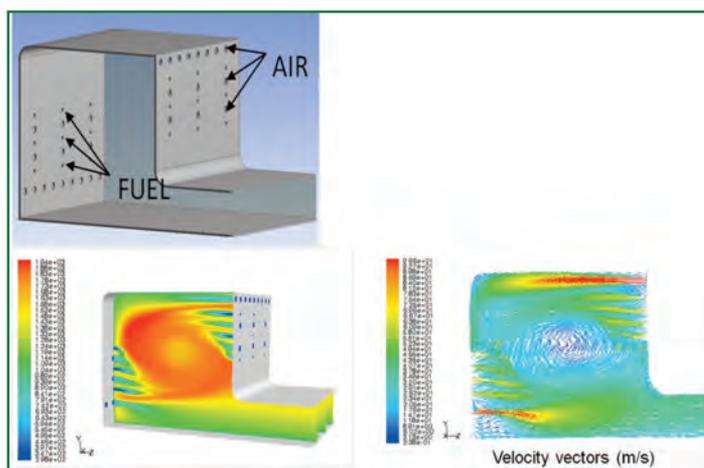
(Low Mach e comprimibile) e supersonico. HeaTR implementa una integrazione spaziale alle differenze finite/volumi finiti ad alto ordine e una integrazione temporale di tipo Runge-Kutta. Le geometrie complesse sono trattate con tecniche Immersed Volume. Diversi modelli di sottogriglia, quali Fractal Dynamic Model e Dynamic Smagorinsky, sono altresì disponibili. Le proprietà molecolari e di trasporto delle specie chimiche sono modellate accuratamente e gli schemi cinetici dettagliati sono in formato CHEMKIN.

Sono stati condotti studi (RANS, LES) sulla combustione di gas naturale e combustibili idrogenati in condizioni sia diffusive che premiscelate, investigando anche nuove tecnologie quali la MILD Combustion. Altre applicazioni riguardano le miscele multifase nel settore energetico basato sull'uso del carbone (progetti nazionali finanziati dal Ministero dello Sviluppo Economico) e nel settore aerospaziale (progetti europei TIMECOP, LAPCAT II).

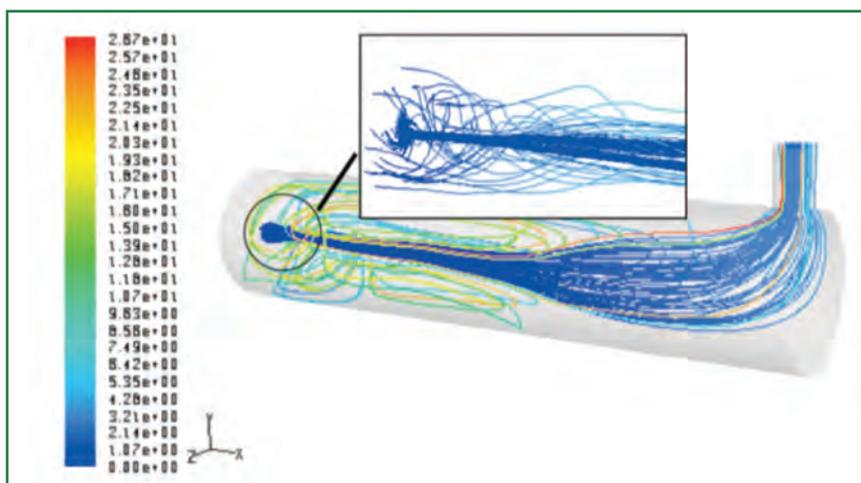
Il Laboratorio collabora con i più importanti gruppi di ricerca nazionale del settore (Università di Roma "Sapienza", Università "Roma TRE", Università "Federico II" di Napoli, Politecnico di Milano) e con istituti di ricerca internazionali (PSI di Zurigo) e partecipa attivamente a comitati tecnici nazionali ed internazionali (Italian Combustion Institute, European Turbine Network, European Energy Research Alliance)



Iso-superfici di temperatura in una fiamma premiscelata metano/aria ancorata a valle di un bluff-body. È inoltre evidenziata in blu la superficie di un vortice toroidale immediatamente a valle della zona di ricircolo principale



Temperature (K) e linee di flusso nel bruciatore Trapped-Vortex alimentato a syngas



Traiettorie delle particelle di slurry di carbone colorate con il tempo di permanenza (sec) nel reattore ISOTHERM

VEICOLI A BASSO IMPATTO AMBIENTALE

Nell'ambito dello sviluppo di sistemi per l'elettro-mobilità e di accumulo elettrico per attività connesse alla propulsione elettrica e allo sviluppo della rete elettrica nazionale, le infrastrutture sperimentali attraverso le quali l'Unità opera sono finalizzate a:

- prove di caratterizzazione a banco e su strada di veicoli e microvetture a trazione ibrida ed elettrica e con varianti nell'alimentazione;
- sperimentazione di sistemi di accumulo elettrico innovativo (batterie al Litio, ultracapacitori ed accumulo misto con prove di funzionalità e durata anche di tipo *abuse test*);
- sperimentazione di componenti e di motorizzazioni termiche ed elettriche, anche con combustibili gassosi (miscele metano-idrogeno) atti alla riduzione delle emissioni di CO₂;
- prove d'insieme dei sistemi di trazione elettrici e ibridi (motore, batterie, generatore, sistema di controllo) prima della realizzazione del veicolo.

Oltre a infrastrutture di tipo tradizionale (banchi a rulli, laboratorio prova batterie ecc.) viene utilizzata la "Stazione prova sistemi di trazione", un impianto di nuova concezione articolato in tre "isole sperimentali" (Sala prova sistemi di trazione elettrici; Sale prova motori termici ed elettrici; Impianto prova macchine alimentate a idrogeno, altri combustibili gassosi e miscele), che possono essere impiegate sia come sale prova autosufficienti sia come un sistema articolato per la prova di sistemi elettrici-ibridi.



Laboratorio Prove al banco a rulli, per prove di sviluppo e caratterizzazione di veicoli elettrici e ibridi

Il laboratorio Prove al banco a rulli è una facility sperimentale per prove di prestazioni, consumi ed emissioni su cicli di guida, standard o impostabili a piacere, di veicoli a 2 e 4 ruote.

Potenziali utenti: Università e centri di ricerca operanti nel campo automotive; privati; laboratori ENEA.

Il laboratorio comprende due impianti, il Banco a rulli da 35 q e quello per veicoli a due ruote e microvetture. Componenti base degli impianti sono i rulli, sui quali poggiano le ruote motrici del mezzo e che sono frenati da una macchina elettrica; questa, a sua volta controllata da un computer, permette le prove standard sui veicoli e la prova di "simulazione della marcia su strada".

L'impianto per mezzi fino a 35 q è alloggiato in un box prefabbricato insonorizzato, ed è provvisto di sistemi di espulsione dei fumi, di ventilazione dell'aria ambiente, di misura di grandezze meccaniche, elettriche e di consumi. Per le prove con veicoli elettrici si dispone di un "ciclatore" dedicato che effettua il condizionamento, la ricarica e il testing delle batterie.

Gli apparati di sicurezza comprendono l'impianto di rivelazione ed estinzione incendi e gli allarmi per gas tossici e asfissianti e consentono l'uso di alimentazione a metano e/o idrogeno dei veicoli in prova.

Il Banco da 35 q è stato realizzato nel 1994 da una ditta specializzata, su specifiche dell'ENEA. È stato lungamente impiegato in prove su veicoli elettrici nazionale elettrici ed ibridi e nella realizzazione di prototipi, nell'ambito di progetti europei e nazionali.

Il banco per veicoli a due ruote e micro vetture, attualmente in ristrutturazione, è stato lungamente impegnato in prove di caratterizzazione delle emissioni di

Foto in alto: vista d'insieme della sala prova

particolato dei ciclomotori e in prove di caratterizzazione di motocicli a propulsione elettrica.

Attualmente il laboratorio è impegnato nell'esecuzione di prove nell'ambito dei seguenti progetti nazionali:

LIVE (Veicoli leggeri eco-compatibili ottimizzati, Iveco), METISOL (produzione ed uso di miscele metano-idrogeno, con idrogeno prodotto da energia solare); MUSS (micro mobilità in ambito urbano, Piaggio).



Vista d'insieme della sala prova



Prove su Daily alimentato a miscele metano-idrogeno



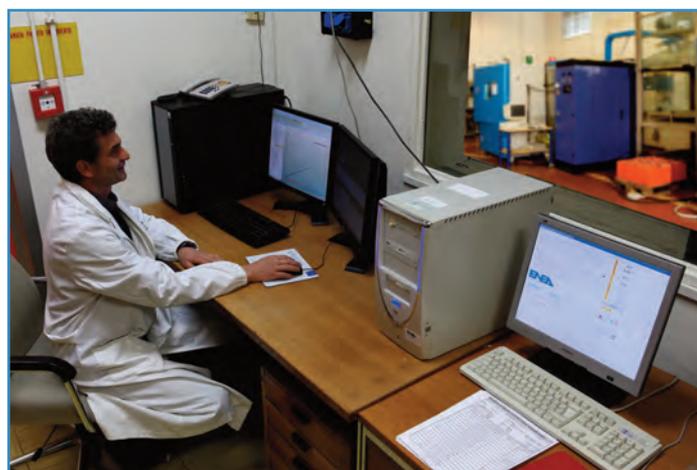
Laboratorio Prova batterie

Il laboratorio Prova batterie è impiegato in studi su sistemi di accumulo costituiti da batterie, supercondensatori e sistemi "misti", con esecuzione di prove di caratterizzazione e vita nell'ambito di progetti di ricerca innovativi nazionali e internazionali. È dotato di strutture e attrezzature per estendere il proprio campo di lavoro anche all'esecuzione di prove d'abuso, al livello dei laboratori più avanzati in Europa nell'ambito del battery testing.

Potenziali utenti: enti di ricerca pubblici e privati; enti governativi (Ministeri); industrie del settore automotive in particolare e dei settori trasporti ed energia in generale; enti normativi.

Il laboratorio è dotato di:

- Ciclatori di varie taglie: 0÷12 V - 150 A, 6÷330 V - 400 A, 36 V - 400 A, 48÷110 V - 600 A, 48÷360 V - 350 A, 0÷560 V - 250 A che consentono l'esecuzione di tutte le prove di caratterizzazione e vita su tutto il possibile campo applicativo, dalle piccole celle ai sistemi batterie completi.
- Due camere climatiche, una da 1 m³, l'altra da 2 m³, per l'esecuzione delle prove in condizioni di temperatura e umidità controllate nel campo di valori -40÷+180 °C, 15÷98% U.R.



Sala Controllo per Laboratorio Prova Batterie – PC di controllo per Ciclatore da 250kw e per Ciclatore da 120kw

Foto in alto: panoramica del Laboratorio con vista di alcuni ciclatori (primo piano, centro) e una camera climatica (fondo)

Recentemente il Laboratorio si è dotato di un nuovo ciclatore da 250 kW, per valori di tensione e corrente fino a 800 V - 600 A, ad alta velocità di commutazione e con 100 canali di acquisizione dati ad alta frequenza, e di una camera climatica da 1 m³ specializzata per l'esecuzione di prove d'abuso.

L'esecuzione delle prove e l'elaborazione dei risultati ottenuti consente all'ENEA di supportare il Committente sia nella parte progettuale che nella parte sperimentale di progetti che impiegano sistemi d'accumulo innovativi, verificando la rispondenza delle prestazioni delle batterie alle caratteristiche dichiarate dal Costruttore e l'idoneità delle stesse alla particolare applicazione del Committente, mediante riproduzione al banco delle reali condizioni di esercizio.

Gli studi effettuati nel laboratorio hanno trovato e trovano applicazione in progetti di ricerca nazionali e internazionali quali:

- Progetti europei: HYSYS (Fuel cell HYbrid vehicle SYStem component development, Daimler), HCV (Hybrid Commercial Vehicle, Volvo).
- Progetti Industria 2015: LIVE (Veicoli leggeri eco-compatibili ottimizzati, Iveco), MUSS (Mobilità Urbana Sostenibile e Sicura, Piaggio).

Tra i risultati di rilievo conseguiti si cita la realizzazione di un sistema di accumulo per impianto funicolare di Bergamo S. Vigilio (in collaborazione con Università di Pisa, Equipaggiamenti Elettronici Industriali S.r.l., Azienda Trasporti Bergamo).



Laboratorio Prova Batterie – Camera Climatica EOS 1000 e Ciclatore 140kW; 0-560V; 250A



Laboratorio Prova Batterie – Ciclatore 250kW; 0-800V; 600A



Laboratorio Prove supercondensatori

Il laboratorio Prove supercondensatori è impiegato in studi su sistemi di accumulo costituiti da supercondensatori e sistemi d'accumulo misti (batterie e supercondensatori) con prove di caratterizzazione e vita nell'ambito di progetti di ricerca su sistemi innovativi.

Potenziali utenti: enti di ricerca pubblici e privati; enti governativi (Ministeri); industrie del settore automotive in particolare e dei settori trasporti ed energia in generale; enti normativi.

Il laboratorio è dotato di un alimentatore DC Hewlett Packard HP6682A, con campo di lavoro $0 \div 21$ V - $0 \div 240$ A e di un carico elettronico DC Hewlett Packard HP6050A a due canali, ciascuno da 60 V - 120 A, 600 W, che permettono l'esecuzione di cicli di carica e scarica, e quindi tutte le prove di caratterizzazione e vita su celle di supercondensatori, fino a moduli più piccoli. Moduli più grandi e sistemi completi, anche misti (batterie e supercondensatori) possono essere testati nell'adiacente Laboratorio Prova batterie.

Il Laboratorio è dotato inoltre di una camera climatica da $0,25$ m³, per l'esecuzione delle prove in condizioni di temperatura e umidità controllate nel campo di valori $-75 \div +180$ °C, $10 \div 98\%$ U.R.

L'esecuzione delle prove e l'elaborazione dei risultati ottenuti consente all'ENEA di supportare il Committente sia nella parte progettuale che nella parte sperimentale di progetti che impiegano sistemi d'accumulo innovativi, verificando la rispondenza delle prestazioni dei supercondensatori alle caratteristiche dichiarate dal Costruttore e l'idoneità degli stessi alla particolare

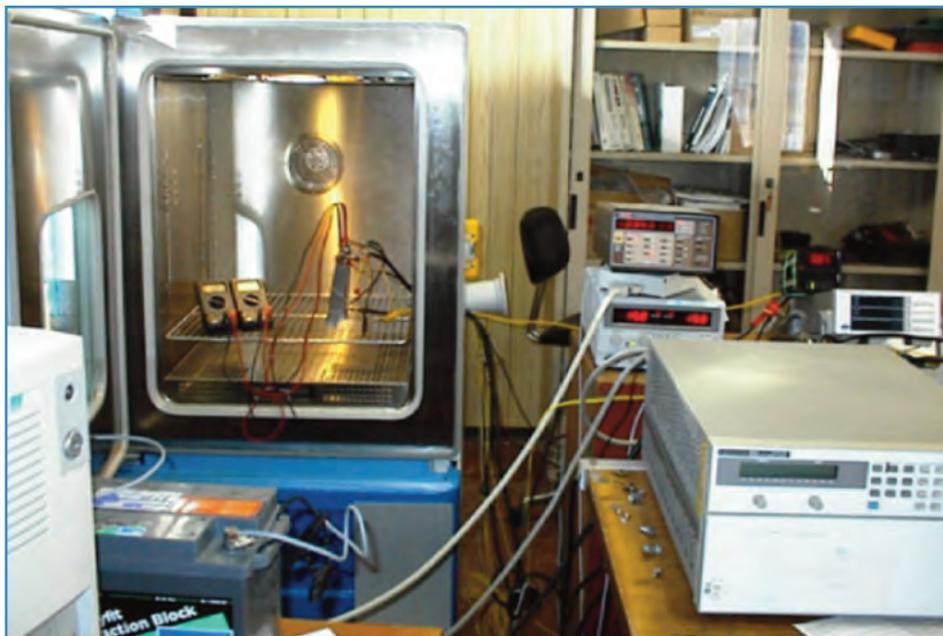
Foto in alto: sala supercondensatori – camera climatica Angelantoni e apparecchiature di prova per supercondensatori

applicazione del Committente, mediante riproduzione al banco delle reali condizioni di esercizio.

Gli studi effettuati nel laboratorio trovano applicazione in progetti di ricerca nazionali e internazionali quali:

- Progetti europei: HCV (Hybrid Commercial Vehicle, Volvo).
- Progetti Industria 2015: MUSS (Mobilità Urbana Sostenibile e Sicura, Piaggio).

Tra i risultati di rilievo conseguiti si cita il brevetto per Sistema di Accumulo Energetico Integrato (in collaborazione con Magneti Marelli).



Panoramica del Laboratorio con vista della camera climatica (sinistra), dell'alimentatore (destra, primo piano) e del sistema di acquisizione dati (destra, fondo)



Celle di supercondensatori in prova



Sala prova sistemi di trazione elettrici

La Sala prova sistemi di trazione elettrici è una facility sperimentale per prove di azionamenti elettrici per trazione automobilistica e impianti a fune.

Potenziati utenti: produttori di veicoli (city car, impianti di movimentazione industriale) e componenti automotive (motori, elettronica di potenza); enti di ricerca e università; laboratori ENEA.

La sala prova sistemi di trazione elettrici, detta anche "Sala prove 30 + 30" in quanto dispone di due banchi freni ognuno da 30 kW, è integrata nell'impianto "Stazione prova sistemi di trazione" e può essere impiegata indifferentemente come sala prove autosufficiente oppure come parte finale del sistema più completo di prove di sistemi ibridi.

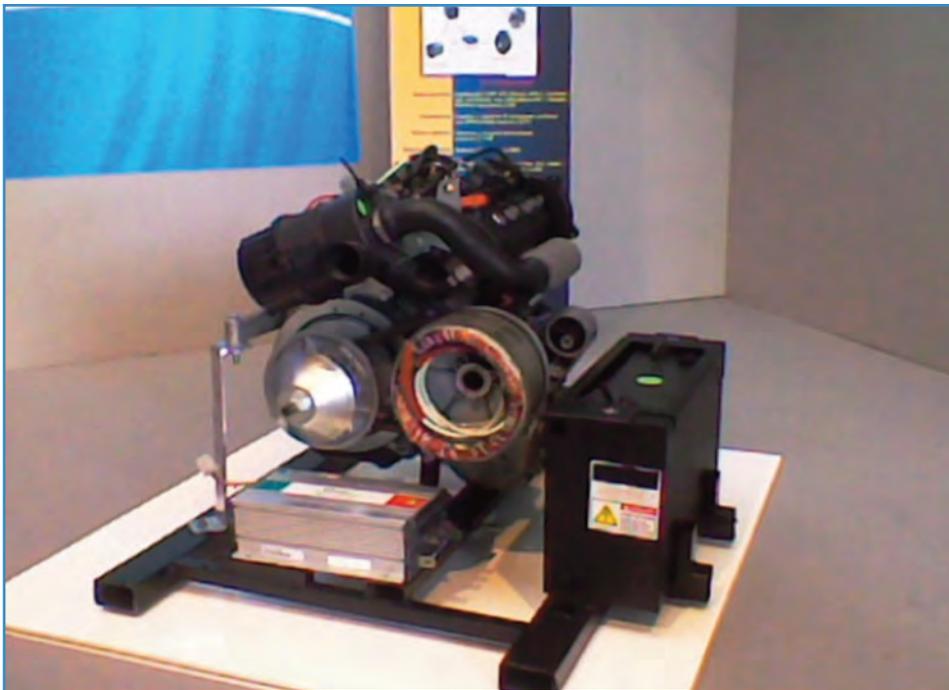
Si avvale di due freni motori identici ed è dotata di collegamento elettrico con la sala batterie e con il ciclatore, per cui si avvale anche dell'alimentazione in corrente continua fornita da queste unità. È gestita dalla sala controllo che permette, oltre alle prove più semplici, la simulazione della marcia dell'intero veicolo a cui appartiene il motore elettrico. Con questo metodo, chiamato "software in the loop", si possono eseguire cicli di lavoro con partenze, soste, marce in salita, variazioni di massa per salita e discesa di passeggeri ecc.

È stata realizzata nel 1994 con gara di appalto internazionale su specifiche emanate da ENEA.

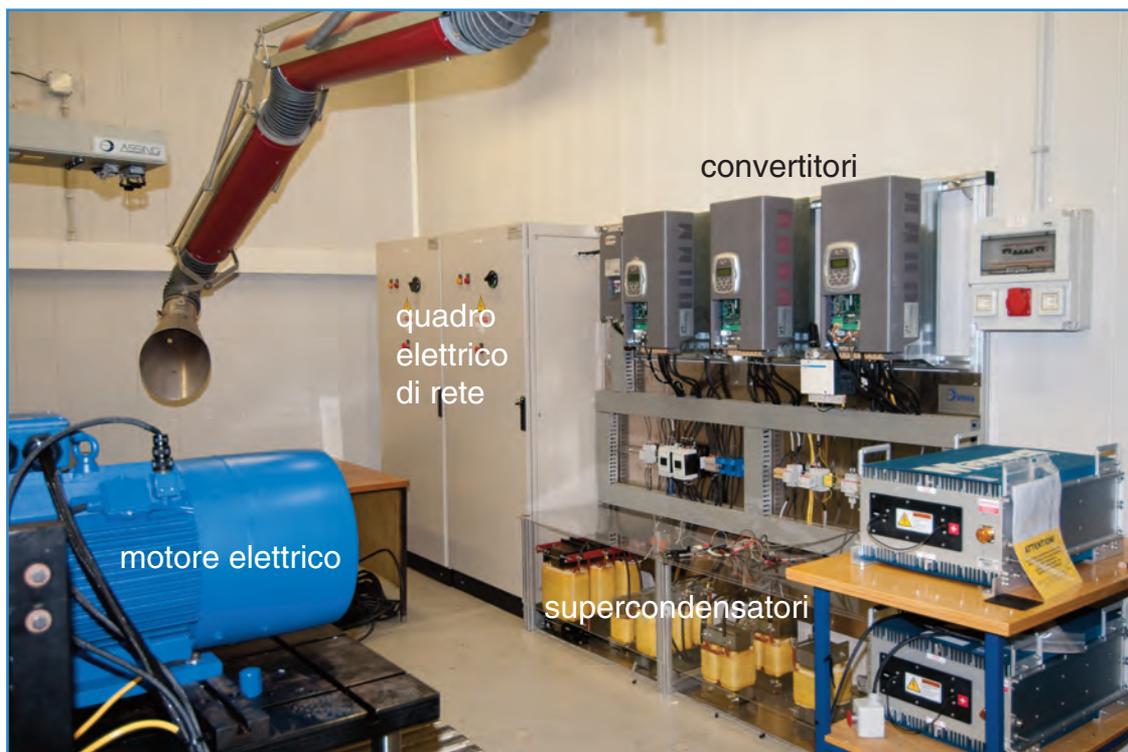
La sala ha permesso di conseguire importanti risultati nell'ambito del programma Ricerca di Sistema Elettrico; in particolare ha effettuato prove in scala per la

Foto in alto: supercondensatori

messa a punto di sistemi di recupero energia con supercondensatori per impianti a fune tipo funivie e carri ponte.
Al momento è impiegata per la realizzazione e il test di una motorizzazione ibrida per vetture da città.



Motorizzazione ibrida



Sistema di recupero energia con supercondensatori



Sale prova motori termici ed elettrici

Le Sale prova motori termici ed elettrici sono facility sperimentali per prove di prestazioni, consumi ed eventuali emissioni inquinanti di motori elettrici e termici, con mappatura delle principali grandezze di interesse motoristico.

Potenziali utenti: Università e centri di ricerca operanti nel campo automotive; privati; laboratori ENEA.

Le sale prova motori termici ed elettrici sono due, equipaggiate con due banchi freno, uno da 100 kW e uno da 200 kW, e dotate di sistemi di refrigerazione idonei al testing di macchine termiche. Le due sale costituiscono la struttura base della "Stazione prova sistemi di trazione" e possono essere impiegate indifferentemente come sala prove autosufficiente oppure come parte finale del sistema più completo di prove di sistemi ibridi.

Il banco AVL da 100 kW che equipaggia una delle sale è pienamente dinamico ed esercibile sui quattro quadranti. Permette pertanto di testare il motore nelle condizioni previste dai cicli di omologazione internazionali, simulando in maniera esatta le inerzie del motore ed eventualmente del veicolo che esso equipaggia. Le sale sono equipaggiate con diversi sistemi di misura di emissioni inquinanti, come AVL AMA e Horiba. L'AVL AMA è uno strumento di estrema precisione dedicato a misure a banco. L'Horiba, pur essendo uno strumento di ottima precisione è imbarcabile a bordo di veicoli di media taglia ed è pertanto utilizzabile (come già fatto più volte con successo) in misure su strada.

Foto in alto: freno dinamico da 100 kW/12.000 r.p.m.

Le sale prova sono state utilizzate in numerosi progetti di ricerca nazionali e internazionali tra i quali, solo a titolo di esempio, si citano:

- il Progetto Europeo FP7 MhyBus (Methane-Hydrogen Bus) per il test e la calibrazione di un motore termico alimentato con miscele metano-idrogeno;
- studi sull'utilizzo rigenerativo di motori elettrici per carroponti, nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico;
- il testing di sistemi di propulsione ibrida parallela per quadricicli.



Freno idraulico da 250 kW



Sala controllo



Impianto prova macchine alimentate a idrogeno, altri combustibili gassosi e miscele

L'impianto è una facility sperimentale per prove di prestazioni, consumi ed eventuali emissioni inquinanti di macchine alimentate a idrogeno, combustibili gassosi e miscele.

Potenziali utenti: Università e centri di ricerca operanti nel campo automotive; privati; laboratori ENEA.

L'impianto, integrato nella "Stazione prova sistemi di trazione", permette la sperimentazione di motori termici e generatori (convertitori primari) alimentati a idrogeno, combustibili gassosi e miscele. Si avvale del banco freno da 200 kW della Stazione e permette pertanto anche il testing di motori termici, con potenza massima di 200 kW e una coppia massima di 600 Nm.

Comprende un carico elettrico controllabile ("ciclature") fino a 330 V e +/-400 A e permette il testing di motogeneratori, turbo generatori e fuel cells.

L'impianto si avvale dei sistemi di misura di emissioni inquinanti AVL AMA e Horiba della Stazione, e di sistemi di misura e di consumo in linea (misura di portata su base massica di combustibili gassosi).

La facility sperimentale è dotata di un locale per bombole esterno conforme agli standard di sicurezza, e di una linea di alimentazione a 100 bar ed elevata portata. Per il rifornimento di veicoli alimentati a combustibili gassosi è disponibile anche una "minirete gas compressi" (stazione di compressione), utilizzabile per metano, idrogeno e miscele dei due combustibili. La minirete è stata utilizzata più volte in diversi progetti di ricerca anche internazionali. È alloggiata su un container carrabile ed è stata più volte dislocata sul territorio per l'alimentazione su strada di veicoli in prova.

Questi impianti sono stati utilizzati in numerosi progetti di ricerca nazionali ed internazionali, ad esempio nell'ambito del Progetto Europeo FP7 MhyBus

Foto in alto: turbogeneratore da 30 kW elettrici alimentato a metano

(Methane-Hydrogen Bus) per il test e la calibrazione di un motore termico alimentato con miscele metano-idrogeno, per il testing di una Fuel Cell da 30 kW di proprietà della SAPIO, nell'ambito del Progetto PBI (Piattaforma Bus Innovativi) INDUSTRIA 2015, e in passato per il test di un gruppo di generazione a turbina a gas da 30 kW alimentato a metano.



Minirete per il rifornimento di idrogeno, metano e miscele ad alta pressione



La Sala allestita con una culla per motori termici e un freno a correnti parassite

ROBOTICA

Nell'ambito dello sviluppo di tecnologie di automazione e percezione avanzate, riconoscimento e fruizione visiva, classificazione intelligente, cooperazione *multirobot* orientate al sostegno dell'industria, al supporto delle esigenze sociali e culturali del Paese ed alla protezione dei cittadini, le infrastrutture sperimentali e di calcolo attraverso le quali l'Unità opera sono finalizzate allo studio di:

- sistemi mobili intelligenti per applicazioni in ambiente terrestre e marino per supporto alle forze armate in *peace keeping/peace enforcement, disaster recovery, environment restoration*, protezione da attacchi terroristici ecc.;
- sistemi di interfaccia uomo-robot, in realtà virtuale e potenziata, e ad interazione multisensoriale per la rieducazione di soggetti con disabilità, per il supporto funzionale-emotiva per anziani (*robot companion*) ecc.;
- sistemi mobili e di percezione sensoriale per l'accesso a siti archeologici o di altra natura inaccessibili, per l'individuazione di beni culturali sommersi o sepolti; sistemi di assistenza per la diagnostica, la manutenzione ed il restauro di opere d'arte.



Laboratorio Robotica mobile terrestre

Il laboratorio opera nel settore della robotica mobile di superficie e sviluppa sistemi robotici autonomi per applicazioni di sorveglianza e sicurezza e conservazione del patrimonio.

Potenziali utenti: ricercatori e progettisti nel settore dei sistemi robotici.

Nell'ambito dei progetti cui l'ENEA ha partecipato (RAS, PRASSI, TECSIS) sono stati sviluppati diversi algoritmi per la navigazione autonoma, la visione artificiale, il riconoscimento di *pattern* nonché di cooperazione tra robot.

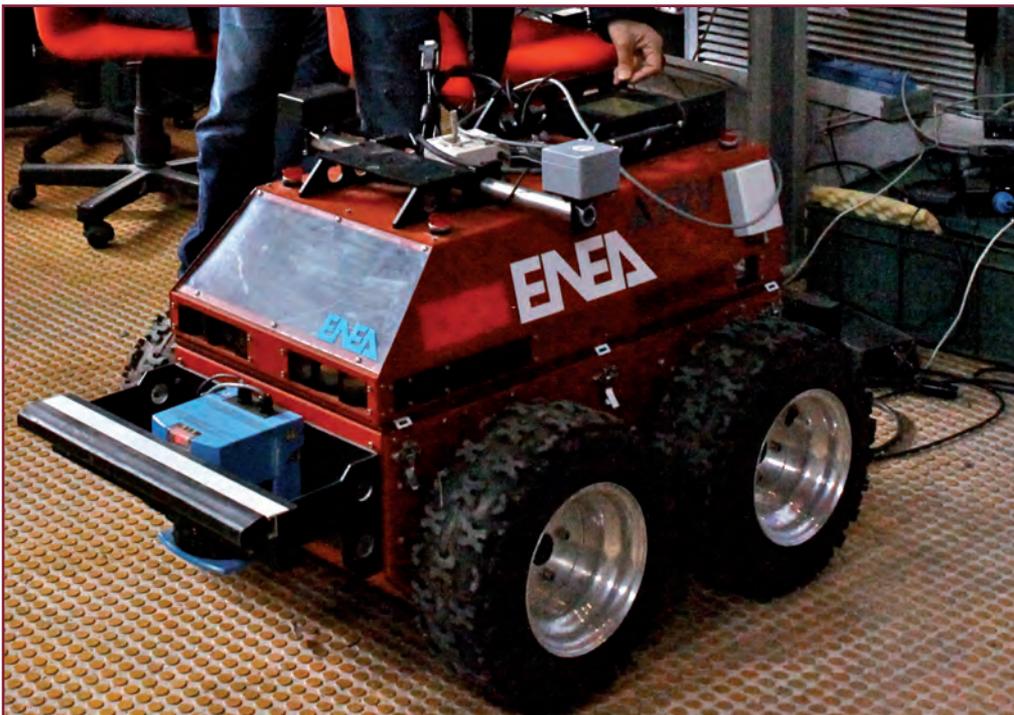
Nel laboratorio Robotica mobile terrestre vengono attualmente condotte attività di ricerca per due sistemi mobili:

- RAS (Robot Antartico di Superficie), sistema basato su una piattaforma meccanica PB260 e realizzato da un consorzio di università e industrie guidato dall'ENEA, in grado di spostarsi sia in modalità autonoma che teleoperata sul suolo antartico e di svolgere una serie di compiti tanto in appoggio alle attività di ricerca scientifica quanto di logistica. Il robot è dotato di un sistema sensoristico composto da radar millimetrico, GPS-RTK, piattaforma inerziale, odometri.
- PRASSI (Piattaforma Robotica Autonoma per Sicurezza e Sorveglianza di Impianti), laboratorio robotico autonomo mobile per testare e implementare diverse strategie di navigazione. PRASSI è stato concepito per ispezioni e sorveglianza di impianti a rischio, ma può essere utilizzato anche in altri ambiti. Il cuore del sistema è rappresentato dai moduli di pianificazione e di navigazione che "misurano" il mondo esterno con sensori esterni variabili a seconda dell'impiego. Possono essere utilizzati un GPS, una bussola per misurare la posizione, laser per rilevare ed evitare gli ostacoli, georadar capaci di rilevare echi di cavità sotterranee.

Foto in alto: RAS



RAS - Antartide



PRASSI



Piscina per test su robot subacquei

La piscina per test su robot subacquei è una struttura utilizzata per attività e test riguardanti la robotica subacquea, per lo studio e la ricerca di tecnologie marine, navigazione e controlli avanzati.

Potenziali utenti: ricercatori e progettisti nel settore della robotica subacquea.

La Piscina per test su robot subacquei viene attualmente impiegata nello sviluppo di uno sciame di sottomarini autonomi finalizzato al monitoraggio ambientale e alla "security", nell'ambito del progetto HARNES (Human Adaptive Robotic Network of SensorS). I punti chiave del progetto che riguardano l'utilizzo della piscina sono le nuove strategie di comunicazione subacquea e lo sviluppo di un prototipo di sottomarino.

L'ENEA utilizza la piscina per l'attività di due dispositivi:

- VENUS (VEicolo per la Navigazione sUBacquea e la Sorveglianza), prototipo di sottomarino autonomo interamente progettato presso i laboratori ENEA. VENUS rappresenta l'elemento base del sistema composto da più veicoli cooperanti e coordinati (lo sciame), che saranno realizzati nell'ambito del progetto HARNES. Il veicolo, che pesa 40 kg ed è realizzabile a costi contenuti, è dotato di sensori, telecamere stereo, profonditàmetro, bussola, sonar panoramico, *side-scan sonar*, idrofoni, ha un'autonomia di 3 ore, può procedere alla velocità massima di crociera di 2 nodi (3,7 km/h) e può raggiungere i 50 metri di profondità.

Foto in alto: vista dall'alto della piscina

- TESSA (TEsta Stereoscopica SubAcquea), dispositivo subacqueo progettato presso i laboratori ENEA e brevettato, impiegato per l'acquisizione e la registrazione di stereogrammi ad elevata risoluzione utile alla misura metrica di reperti subacquei. Per le sue caratteristiche TESSA può essere particolarmente utile el complesso settore dell'archeologia subacquea.



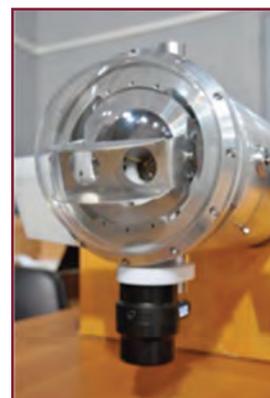
TESSA



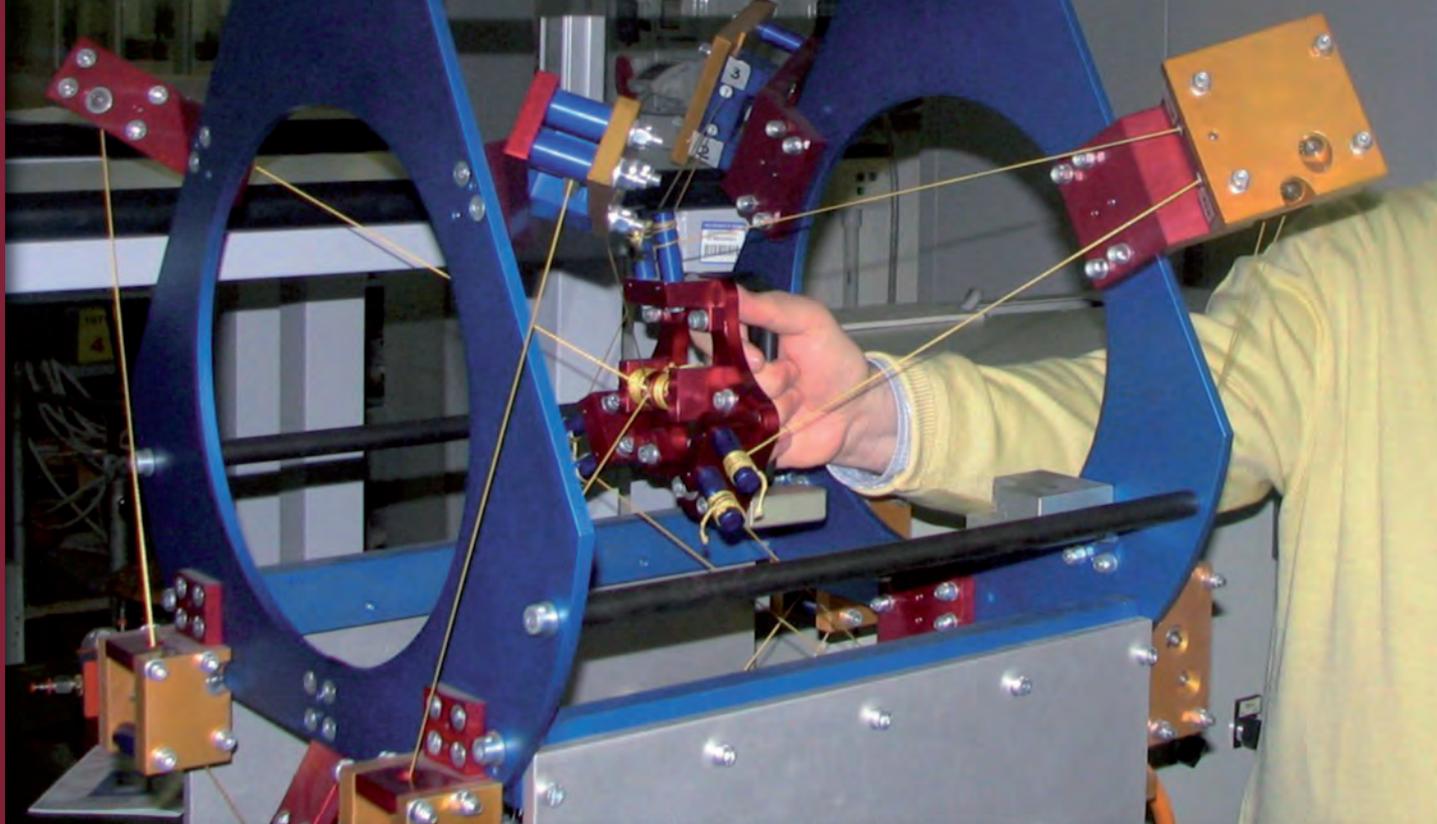
VENUS



VENUS - Elica di spinta e timoni direzionali



VENUS - Prua con alloggiamento telecamera e sonar



Laboratorio Telesmanipolazione

Il laboratorio opera nel settore della teleoperazione, telesmanipolazione e interfaccia uomo-macchina. Ha come finalità la ricerca e lo sviluppo di telesmanipolatori a riflessione di forza da utilizzare in sostituzione dell'uomo in ambienti ad alto rischio.

Potenziali utenti: ricercatori e progettisti nel settore della teleoperazione, telesmanipolazione e interfaccia uomo-macchina.

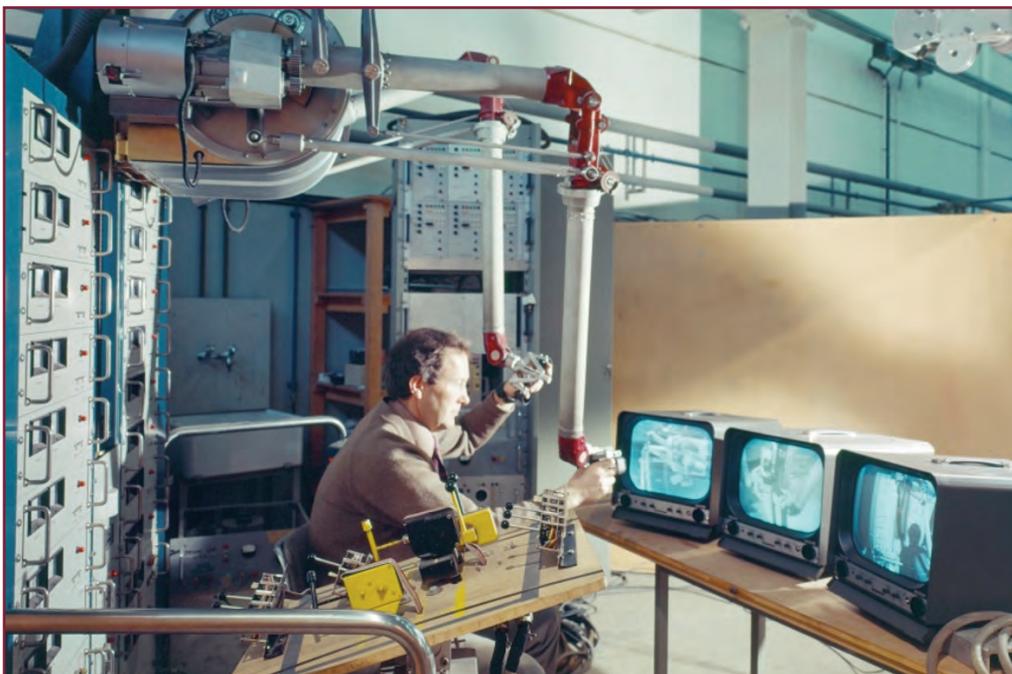
Il laboratorio telesmanipolazione è nato agli inizi degli anni 60 con la realizzazione del MASCOT, il primo servo meccanismo ideato e costruito nei laboratori della Casaccia, per essere utilizzato dall'uomo in ambienti contaminati dalle radiazioni. Attualmente vengono condotte attività di ricerca su un nuovo dispositivo di controllo meccanico per compiti di telesmanipolazione con ritorno di forza per interagire in ambienti di realtà virtuale.

L'ENEA utilizza il laboratorio per l'attività di due dispositivi:

- MASCOT (MANipolatore ServoCONTrollato Transistorizzato), dispositivo di tipo "master slave" con retroazione di forza, in grado di effettuare azioni trasmettendo informazioni sensoriali all'operatore. Il MASCOT è stato utilizzato e via via migliorato al JET, dove è tuttora in uso un modello di quarta generazione in grado di compiere tutte le operazioni richieste durante le fasi di shut-down. Con il MASCOT 2000 si è giunti ad una versione completamente rinnovata di questo teleoperatore, che continua ad essere ancora insuperato nelle sue caratteristiche di forza ed è il simbolo delle competenze ENEA nel settore della robotica.

Foto in alto: WiRo 6.3

- WiRo 6.3 (Wire Robot), struttura master per teleoperazione a meccanica parallela con sei gradi di libertà realizzato mediante la movimentazione di una piattaforma mobile per mezzo di nove cordini. Recentemente una versione è stata destinata a essere impiegata come piattaforma stabilizzata per il supporto di strumenti di precisione. Progettato e realizzato in collaborazione con il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Torino.



MASCOT - JET



MASCOT 2000



Laboratorio Sensoristica e automazione per l'assistenza fisico-emotiva alla persona

Il laboratorio opera nel settore delle tecnologie di ausilio alle persone con disabilità sensoriale e cognitiva. Ha come finalità la ricerca e sviluppo di ausili, sistemi tecnologici e metodi di progettazione integrata per il superamento delle barriere fisiche e degli altri elementi componenti dell'handicap.

Potenziali utenti: progettisti e ricercatori di ausili e sistemi tecnologici per le persone con diverse abilità.

Il laboratorio Sensoristica e automazione per l'assistenza fisico-emotiva alla persona svolge attività di ricerca e sviluppo su:

1. tecnologie di *augmented reality* e sistemi informativi qualificati, per offrire alle persone con esigenze speciali, alle famiglie e alle strutture di assistenza, gli strumenti per operare scelte ottimali e progettare la vita quotidiana secondo le proprie specifiche esigenze individuali;
2. adattamento tecnologico dei processi produttivi e del posto di lavoro, per l'integrazione sociale e lavorativa di persone con disabilità.

Il Laboratorio, inoltre, ha la strumentazione per il montaggio e il *testing* dei prototipi delle tecnologie sviluppate e può realizzare percorsi attrezzati per la sperimentazione di sistemi e tecnologie di orientamento e guida per i non vedenti.

Il Laboratorio è impegnato nei seguenti progetti:

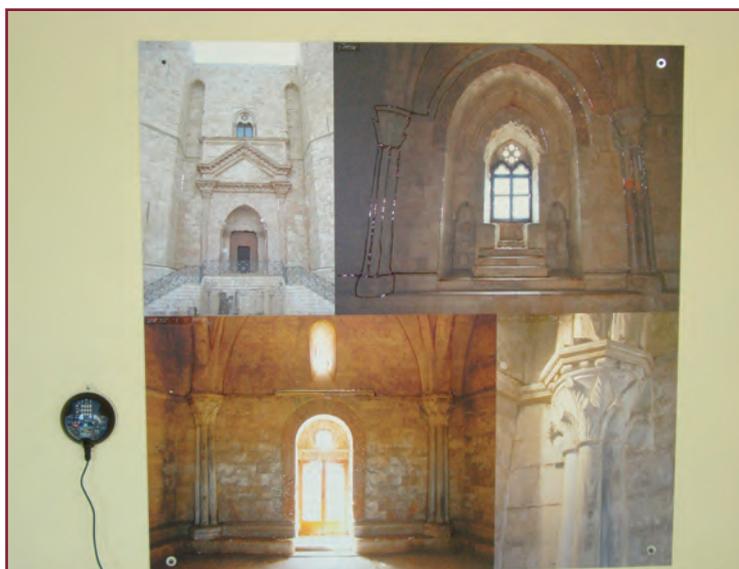
- Progetto "Walk Assistant", in collaborazione con UIC - Unione Italiana Ciechi.
- Progetto europeo "ItactI - Smart Interactive Tactile Interface Effecting Graphical Display".

Foto in alto: postazione informatica accessibile ai non vedenti

- Progetto "STARe - Servizi Turistici per l'Accessibilità e la Residenza Confortevole", finanziato dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri.
- Progetto "Traveller Needs" finanziato dalla regione Puglia.
- Progetto "SIS.T.AS.T - Sistema Tecnologico per l'Assistenza Territoriale" finanziato dalla regione Puglia.
- Progetto europeo AAL (Ambient Assisted Living Joint Programme) "I'cityForAll".



Interfaccia tattile realizzata mediante fluido elettroreologico nel progetto europeo Itactl - Smart Interactive Tactile Interface



Un particolare del sistema di assistenza e guida per i visitatori installato dall'ENEA presso l'ausilioteca Cercat di Cerignola

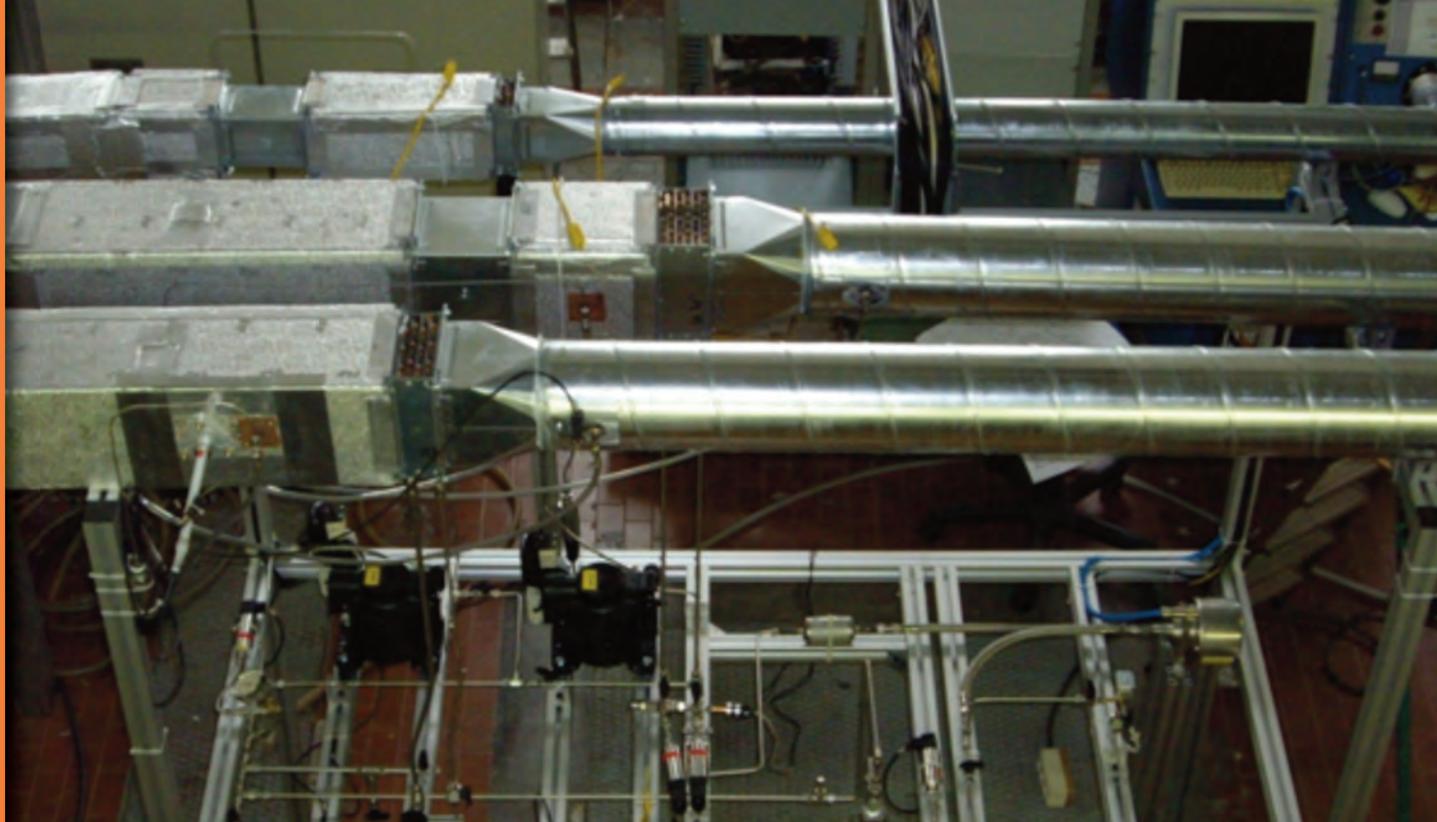


Il percorso Walk Assistant per i visitatori non vedenti installato dall'ENEA nel Museo Omero di Ancona

TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA AI SISTEMI ENERGETICI

Nell'ambito delle ricerche sul trasferimento di calore e di massa nei sistemi mono e bifase, per applicazioni relative all'industria elettronica, aerospaziale, del freddo alimentare della climatizzazione e di processo, le infrastrutture sperimentali e di calcolo numerico attraverso le quali l'Unità opera sono finalizzate allo studio di:

- microfluidica (scambio termico in canali di piccole dimensioni), nanofluidica (fluidi innovativi per il miglioramento dello scambio termico);
- sistemi di trasferimento di calore con ebollizione in assenza di gravità per applicazioni spaziali;
- utilizzo della CO₂ come refrigerante naturale per frigoriferi domestici a basso impatto ambientale (sviluppo ciclo e componenti), per pompe di calore con produzione di acqua calda e fredda, per macchine dedicate alla produzione industriale e artigianale di gelato;
- sviluppo pre-industriale di pompe di calore ad assorbimento acqua-ammoniaca reversibili per uso domestico;
- sviluppo della filiera del condizionamento ambientale mediante l'utilizzo di fonti rinnovabili di energia: *solar heating & solar cooling* (pannelli solari a tubi evacuati, *heat pipes* accoppiati a pompe di calore ad assorbimento).



Impianti sperimentali CA.DO.RE., AI.CO.WA. e Pa.CO₂ per lo studio di cicli termodinamici a CO₂

Gli impianti CA.DO.RE., AI.CO.WA. e Pa.CO₂ sono facility sperimentali per studi sull'impiego di cicli termodinamici a CO₂ (R722), al fine di individuare le applicazioni con prestazioni già interessanti, migliorarle e ricercarne delle nuove grazie allo sviluppo e alla concentrazione di competenze. Tramite apparati dimostratori si offre la possibilità di valutare sperimentalmente le potenzialità di queste nuove tecnologie.

Potenziali utenti: imprese del settore della climatizzazione e della produzione di acqua sanitaria, e in tutti quei settori industriali ove possa essere utile disporre di fluidi a temperature medio-alte.

L'impianto CA.DO.RE (CARbon dioxide for DOMestic REfrigeration) nasce per lo studio della CO₂ nel campo della refrigerazione e del condizionamento domestico, in particolare per:

- studi sperimentali delle diverse possibili configurazioni dei cicli, per refrigerazione domestica e pompe di calore,
- studi, sperimentazioni e caratterizzazione di componenti specifici per refrigerazione a CO₂.

L'impianto è stato realizzato nell'ambito del progetto Industria 2015 "Studio, progettazione e sviluppo di una nuova gamma di elettrodomestici caratterizzata da tecnologie innovative mirate a una notevole riduzione dei consumi energetici e dell'impatto ambientale", iniziato nel 2009 e tuttora in corso.

Le prove finora eseguite hanno fornito valide informazioni sull'uso della CO₂ nella refrigerazione.

L'impianto AI.CO.WA. (AIR conditioning with HP CO₂ water-WATER) si propone l'obiettivo di definire un sistema ottimale per la produzione acqua calda sanitaria e per la climatizzazione estiva e invernale, verificandolo in un ambiente

Foto in alto: disposizione degli scambiatori sul circuito aeraulico dell'impianto CADORE

appositamente strumentato, sfruttando le potenzialità della pompa di calore (HP, Heat Pump) a CO₂ di produrre acqua calda fino oltre 90 °C e di avere il COP del ciclo scarsamente influenzato dalla temperatura di evaporazione. La HP acqua-acqua a R744 produce acqua calda lato gas-cooler e acqua fredda sull'evaporatore. I due flussi termici "caldi" e "freddi" provenienti da serbatoi di accumulo sono opportunamente avviati, a seconda delle condizioni ambientali esterne, ai fan coils e alla UTA a servizio dell'ambiente da climatizzare.



Impianto AI.CO.WA.: pompa di calore a R744 (CO₂)

L'impianto è stato realizzato nell'ambito dell'Accordo di Programma con il Ministero dello Sviluppo Economico "Ricerca di Sistema Elettrico" ed è in corso la campagna di prove prevista.

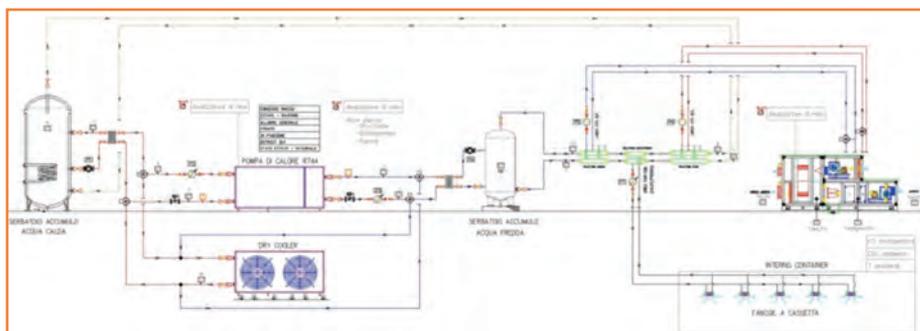
L'impianto Pa.CO₂ (Pasteurization with CO₂) studia una ulteriore possibile applicazione della tecnologia delle HP a CO₂ nei processi di pastorizzazione dei prodotti alimentari, che richiedono una fase di riscaldamento oltre i 65-80 °C e una successiva rapida fase di raffreddamento fino a temperature dell'ordine dei 4 °C. Allo scopo, si è asservita una HP a CO₂, progettata per la produzione di acqua calda sanitaria, a un pastorizzatore per gelato ove il caldo è ottenuto da resistenze elettriche e il freddo con una macchina refrigerante. Lo scopo è abbattere i consumi elettrici di circa il 70% durante la fase di riscaldamento del prodotto grazie al COP della HP, nettamente superiore all'unità, per poi utilizzare la stessa HP, invertita, per la refrigerazione.



Impianto sperimentale Pa.CO₂

L'impianto è stato realizzato in ENEA nell'ambito dell'Accordo di Programma con il Ministero dello Sviluppo Economico "Ricerca di Sistema Elettrico" e di una commessa della ditta produttrice del pastorizzatore.

La fase di prove ha dimostrato le potenzialità di tale soluzione raggiungendo i risparmi attesi in fase di riscaldamento; il progetto è ancora in corso per le ottimizzazioni e l'inversione del ciclo.



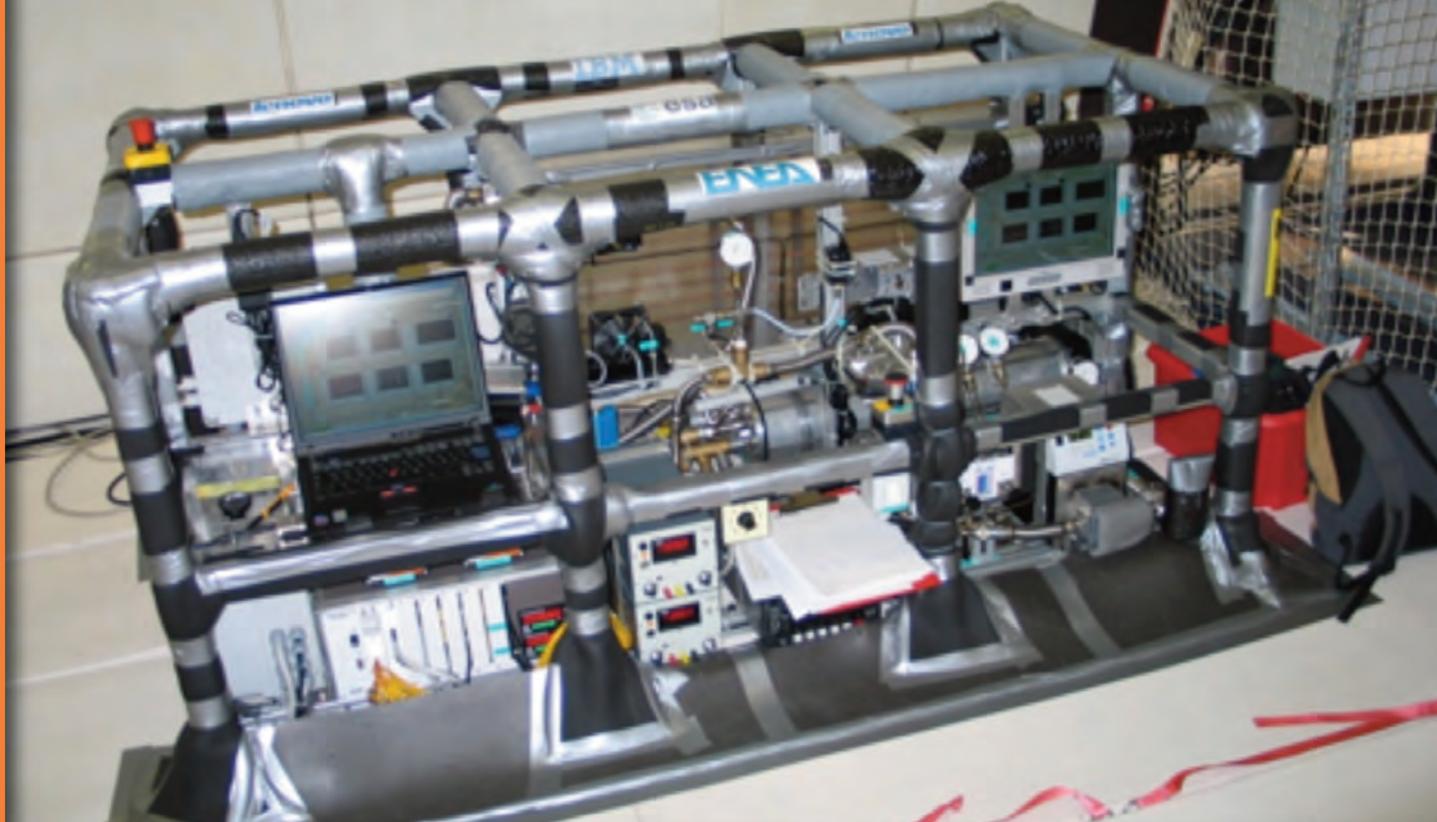
Schema funzionale dell'impianto sperimentale AI.CO.WA

Referente

Impianto CA.DO.RE
Raniero Trinchieri, raniero.trinchieri@enea.it

Impianto AI.CO.WA
Nicolandrea Calabrese,
andrea.calabrese@enea.it

Impianto Pa.CO₂
Raniero Trinchieri, raniero.trinchieri@enea.it
Luca Saraceno, luca.saraceno@enea.it



Impianti sperimentali MICROBO e GHPD per studi sulla trasmissione del calore in assenza di gravità

Gli impianti MICROBO e GHPD sono facility sperimentali per studi e prove sulla trasmissione di calore in assenza di gravità propedeutici a esperimenti da svolgere sulla stazione spaziale europea.

Potenziali utenti: industrie aerospaziali e agenzie spaziali nazionali e internazionali. Il GHPD può inoltre avere interessanti ricadute ove sia utile la caratterizzazione termofluidodinamica della struttura capillare (arterie, mezzi porosi).

L'impianto sperimentale MICROBO (MICROgravity BOiling) progettato e realizzato con contributo ASI, è utilizzato in test di ebollizione in convezione forzata in volo parabolico a bordo dell'aereo A300 Zero-gravity della Novespace, per lo sviluppo e la caratterizzazione di sistemi di trasferimento di calore ad alta efficienza in applicazioni spaziali. È l'unica facility europea disponibile per l'esecuzione di questo tipo di prove sperimentali.

L'impianto MICROBO ha già eseguito cinque campagne di volo parabolico ESA (dal 2004 al 2008) nell'ambito di due progetti ESA-MAP (Microgravity Application Program): BOILING (Boiling, Heat Transfer and Fluids Management. Gravity and Electrostatic Fields Influence) e CBC (Convective Boiling and Condensation) per lo studio dell'ebollizione in convezione forzata all'interno di tubi, con visualizzazione del fenomeno, e di due contratti di ricerca con SNECMA per lo studio del *quenching* nella movimentazione del combustibile criogenico del razzo vettore VINCI.

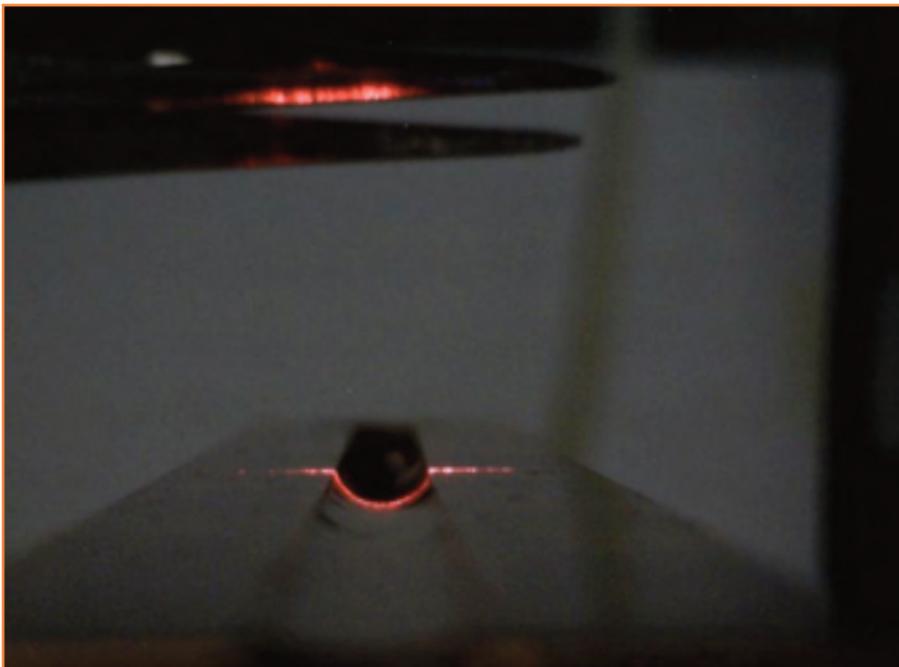
Attualmente, l'impianto è impiegato per le prove sperimentali del progetto MANBO (finanziato dall'ESA, European Space Agency).

Foto in alto: impianto MICROBO a bordo del velivolo Zero-G in configurazione di volo

L'apparato sperimentale GHPD consente di eseguire test per la caratterizzazione termofluidodinamica della struttura capillare (arterie, mezzi porosi) di dispositivi di scambio termico in regime bifase del tipo a "tubi di calore". Esso è costituito da un banco prova per la visualizzazione del deflusso di liquido (acqua) in una sezione di prova costituita da un piccolo canale lungo 200 mm a sezione quadrata (4x4 mm) praticato in un blocco di rame scaldabile a un'estremità. Il canale simula una delle arterie (gole, scanalature) realizzate all'interno dei tubi di calore per generare la pressione capillare necessaria alla circolazione passiva del fluido di lavoro (pompaggio capillare) e per riportare il liquido dalla zona di condensazione a quella di evaporazione. I test sperimentali a freddo e a caldo consentono di valutare il comportamento del fluido nella zona condensante e adiabatica (valutazione delle perdite di carico in fase liquida) e nella zona scaldabile di evaporazione (valutazione del trasferimento di calore per evaporazione e della pressione capillare che s'instaura nella gola). Attività sono state condotte in passato impiegando come strutture capillari sia mezzi porosi sinterizzati (tubi di calore a LOOP, LHP) che strati di retine metalliche (in tubi di calore convenzionali).



Impianto GHPD: apparato sperimentale

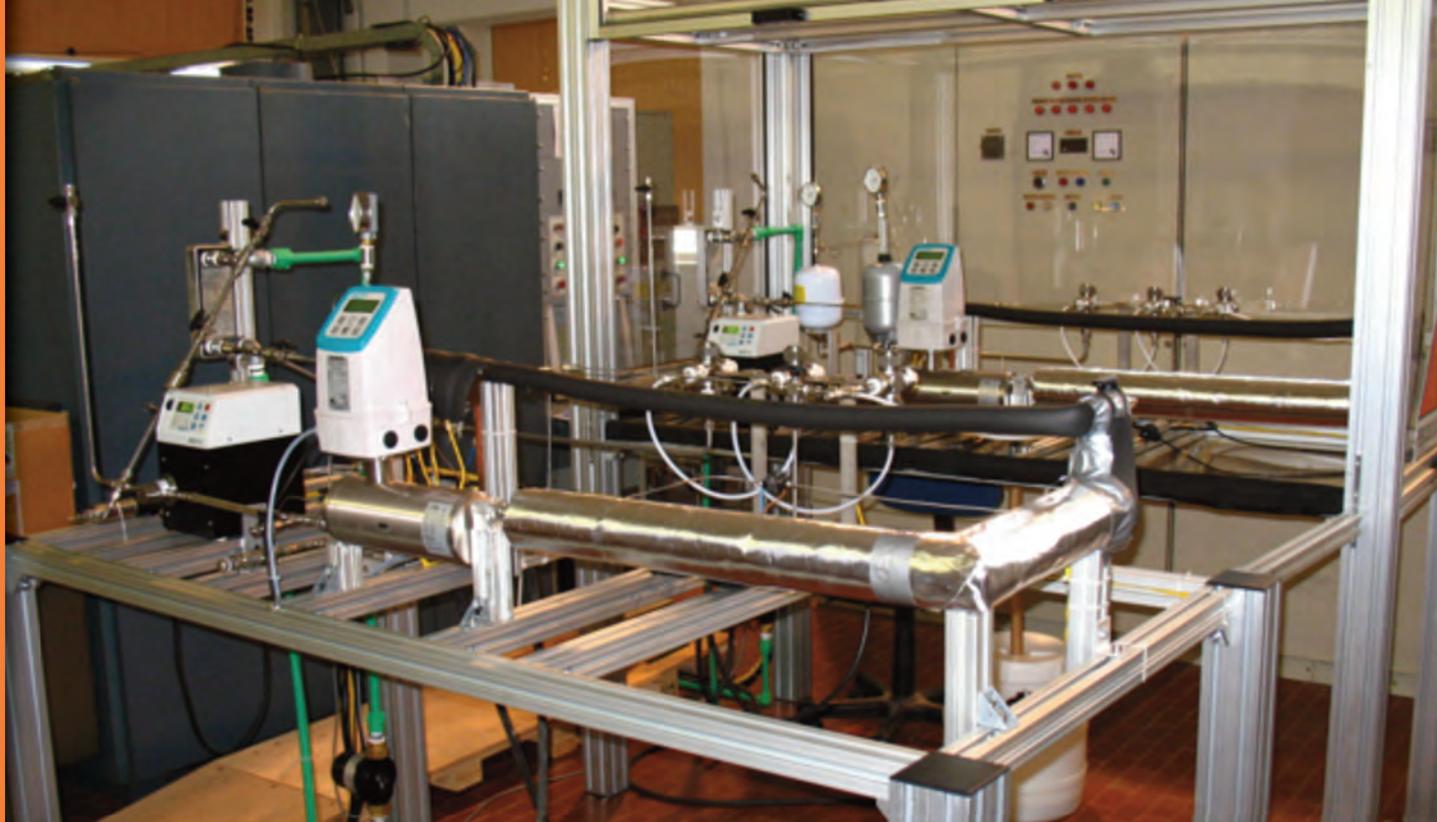


Impianto GHPD: visualizzazione menisco

Referente

Impianto MICROBO
Giuseppe Zummo
giuseppe.zummo@enea.it

Impianto GHPD
Massimo Furrer, massimo.furrer@enea.it



Impianti sperimentali H.E.T.N.A. e B.O.E.M.I.A. per studi sulla termomeccanica dei nanofluidi e la termofluidodinamica in microcanali

Gli impianti H.E.T.N.A. (Hydraulic Experiments on Thermo-mechanical of NANofluids) e B.O.E.M.I.A. (BOiling Experiments in MIcroscale Apparatus) sono facility sperimentali per studi riguardanti l'impiego di nanoparticelle nei fluidi puri al fine di aumentarne le prestazioni termofluidodinamiche e la miniaturizzazione dei canali degli scambiatori. Si tratta di soluzioni innovative volte a migliorare prestazioni di sistemi e componenti di particolare interesse per tecnologie quali l'elettronica.

Potenziati utenti: soggetti industriali o enti di ricerca interessati all'impiego di microtecnologie per la realizzazione di dispositivi di scambio termico compatti dalle prestazioni incrementate e all'utilizzo di nano-fluidi in sistemi termici già esistenti o di nuova concezione, nonché al confronto in tempo reale delle prestazioni di due diversi fluidi o componenti.

In questi campi, di grande interesse industriale, è fondamentale l'approccio sperimentale poiché si studiano situazioni finora trascurate nella letteratura scientifica.

L'impianto H.E.T.N.A., per studi di termomeccanica dei nanofluidi, è costituito da due circuiti identici funzionanti simultaneamente nelle stesse condizioni, uno riempito con liquido puro e l'altro con il nanofluido da testare (liquido puro +nanoparticelle). Questa facility permette di valutare il danneggiamento di superfici metalliche a causa dell'impatto di un flusso di liquido con e senza nanoparticelle per tempi relativamente lunghi; consente inoltre di effettuare prove di scambio termico in convezione forzata in un tubo scaldato per effetto joule.

Foto in alto: impianto H.E.T.N.A.

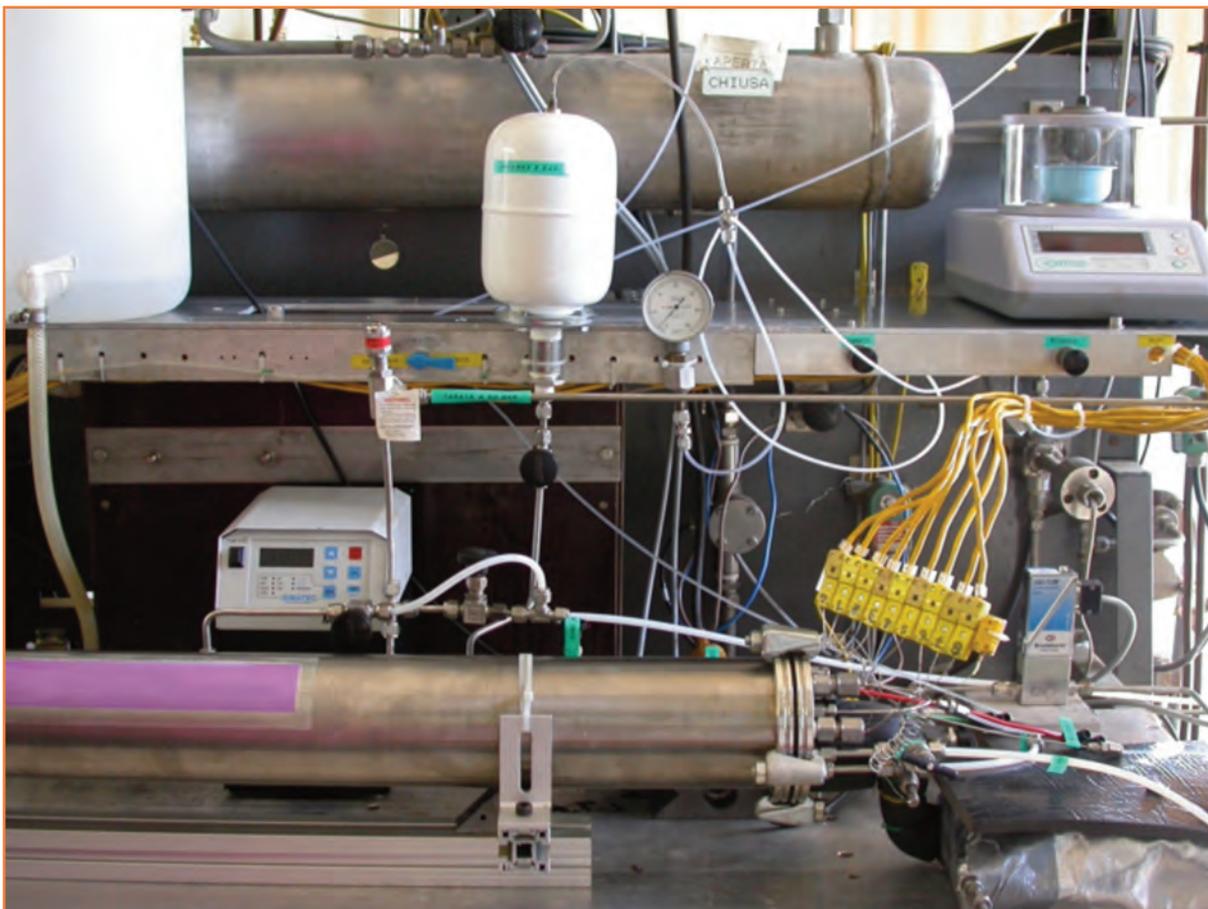
L'impianto H.E.T.NA. è stato ed è tuttora utilizzato nell'ambito del progetto europeo HENIX (ora NANOHEX "enhanced NANO fluid Heat EXchange"), finanziato nell'ambito del Settimo Programma Quadro cui l'ENEA partecipa.

L'impianto ha fornito dati sull'incremento (a volte notevole) dell'erosione-corrosione in caso di sostituzione dell'acqua con nanofluido come liquido refrigerante, oltre che i coefficienti di scambio termico sia laminare che turbolento.

Sull'impianto BO.E.MI.A., per studi di termofluidodinamica bifase in micro canali, è invece possibile testare microtubi di vari materiali con diametri interni dai 250 micron fino a 1 mm. Vengono analizzati gli effetti delle dimensioni dei microcanali sulle perdite di carico e sullo scambio termico in presenza di cambiamento di fase, con la possibilità di valutare le prestazioni di diversi liquidi refrigeranti.

L'impianto BO.E.MI.A. è stato impiegato principalmente per le attività di ricerca finanziate dai progetti PRIN 2007 e dal PRIN 2009, quest'ultimo tuttora in essere. Le prove sperimentali eseguite sull'impianto BO.E.MI.A. hanno fornito un database di notevole interesse per lo scambio termico in microcanali con efflussi sia monofase che bifase. I dati ottenuti sono stati oggetto di varie pubblicazioni su importanti riviste scientifiche del settore.

Gli impianti H.E.T.NA. e BO.E.MI.A. sono stati interamente ideati, progettati e realizzati dal Laboratorio Termofluidodinamica applicata ai sistemi energetici dell'Unità Tecnica Tecnologie Avanzate per l'Energia e l'Industria dell'ENEA.



Impianto H.E.T.NA.

Referente

Impianto H.E.T.NA.
Francesco D'Annibale,
francesco.dannibale@enea.it

Impianto BO.E.MI.A.
Luca Saraceno, luca.saraceno@enea.it



Sistema di impianti sperimentali e dimostratori per studio e sviluppo del solar heating/cooling

L'impiego dell'energia solare per il riscaldamento e condizionamento è una grande opportunità nel settore del risparmio energetico. Scopo delle attività di ricerca è lo sviluppo di nuove o esistenti tecnologie, anche con la loro integrazione, per migliorarne le prestazioni con sistemi di gestione e controllo intelligenti. Gli apparati dimostratori offrono la possibilità di valutare le potenzialità di queste soluzioni.

Potenziali utenti: imprese nel settore della climatizzazione e della produzione acqua sanitaria, e in tutti quei settori industriali ove possa essere utile disporre di fluidi a temperature medio-alte.

L'attività di ricerca comporta l'utilizzo di più impianti.

Sull'impianto T.O.S.C.A. (Thermal fluid-dynamics Of Solar Cooling Apparatus) si punta a ottenere temperature dell'acqua più elevate dai tubi di calore "heat pipe di tipo evacuato", componenti dei pannelli solari ad alte temperature, in modo da potenziarne le prestazioni anche come fonte di calore per pompe di calore ad assorbimento. Parallelamente si studia il "solar heating/cooling" su due dimostratori esistenti e operanti presso due edifici del CR Casaccia.

Un sistema di condizionamento innovativo costituito da un impianto di "solar heating and cooling" è stato installato a servizio di un edificio (edificio F-92 del Centro Ricerche ENEA Casaccia) che si sviluppa su tre livelli, ognuno dei quali dotato di una gestione autonoma del sistema di climatizzazione.

Durante il periodo invernale, i pannelli solari termici a tubi evacuati producono l'acqua calda necessaria ad alimentare i pannelli radianti a pavimento per il riscaldamento degli ambienti (solar heating).

Durante il periodo estivo i pannelli solari termici a tubi evacuati producono

Foto in alto: impianto di solar heating and cooling Ed. F-92: vista edificio-impianto

l'acqua calda necessaria ad alimentare un gruppo frigo ad assorbimento (solar cooling). Questo impianto prosegue l'esperienza iniziata su un precedente impianto (installato nell'edificio F-51 del Centro Ricerche ENEA Casaccia).

Queste esperienze consentono ad ENEA di offrire un servizio relativo a:

- studi di fattibilità;
- simulazione energetica dell'impianto;
- progettazione impianto;
- sviluppo *ad hoc* di tecnologie mirate ad ottimizzare le performance dell'impianto a servizio della specifica utenza per la quale è richiesta la consulenza.

Infine l'ENEA ha realizzato una facility per la caratterizzazione di pompe di calore elio-assistite; questa tecnologia consiste in un normale impianto a pompa di calore ad acqua, nel quale l'acqua in ingresso è preriscaldata tramite dei collettori solari. Per garantire la continuità di esercizio anche in condizioni di assenza di irraggiamento solare è necessario prevedere l'installazione di una batteria di riscaldamento esterna ad aria. Questa stessa batteria può essere utilizzata con funzioni di raffreddamento in estate per temperature superiori alle massime ammissibili per l'evaporatore della pompa di calore. Con questa facility è possibile caratterizzare una qualsiasi pompa di calore acqua-acqua rilevando l'aumento del COP se utilizzata in abbinamento ad un impianto elio-assistito.

Gli impianti sono stati realizzati nell'ambito dell'Accordo di Programma con il Ministero dello Sviluppo Economico "Ricerca di Sistema Elettrico" e sono in corso le campagne di prove previste.



Impianto TOSCA



Facility per caratterizzazione pompe di calore elioassistite

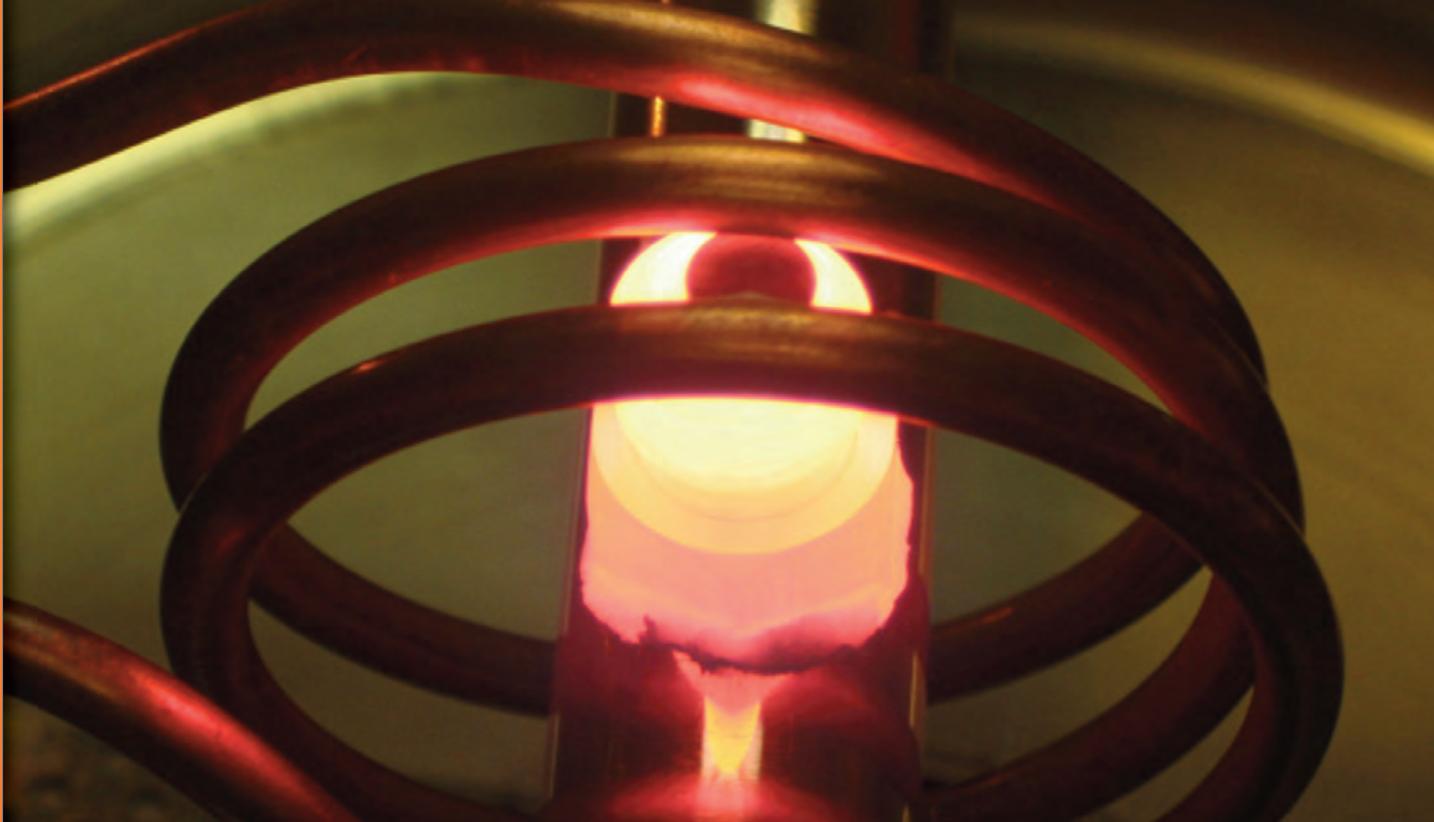
Referente

Impianto T.O.S.C.A.
Andrea Mariani, andrea.mariani@enea.it

Solar cooling/heating edificio F-92
Nicolandrea Calabrese,
andrea.calabrese@enea.it

Solar cooling/heating edificio F-51
Giuseppe Corallo, giuseppe.corallo@enea.it

Facility pompe di calore elio-assistite
Giuseppe Corallo, giuseppe.corallo@enea.it



Laboratorio Sviluppo sensori e strumentazione

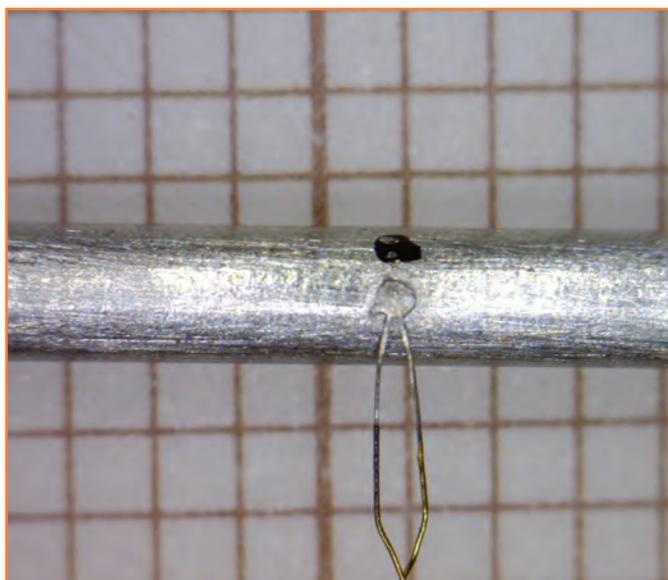
Il laboratorio è dedicato allo studio e allo sviluppo di sensori, strumentazione e apparati per misure sperimentali avanzate.

Potenziali utenti: aziende e laboratori e istituti di ricerca pubblici e privati.

Lo studio e lo sviluppo di strumentazione dedicata alla misura delle grandezze di processo è spesso necessaria, in particolari condizioni termo-fluidodinamiche, come supporto alle attività sperimentali. Inoltre, talvolta si devono affrontare situazioni sperimentali che richiedono la realizzazione di apparati non reperibili in commercio. Nel corso degli anni il laboratorio ha acquisito delle attrezzature e sviluppato competenze per rispondere a queste esigenze.

Esempi di strumentazione sviluppata e di tecniche e apparati disponibili:

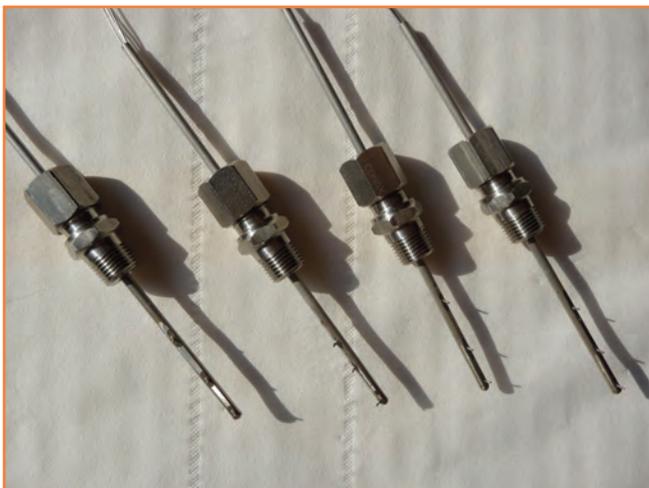
- termocoppie riscaldate per misure termo-fluidodinamiche in ambiente bifase e in miscele di più componenti;
- micro termocoppie per misure di temperatura con dinamiche veloci;
- riscaldatori elettrici dedicati per varie applicazioni;



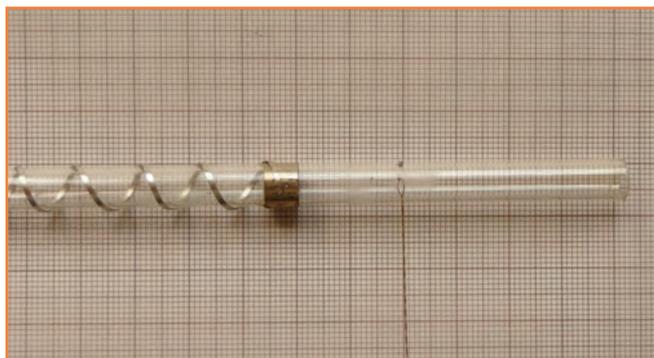
Microtermocoppia incollata sopra un microtubo

Foto in alto: brasatura sottovuoto

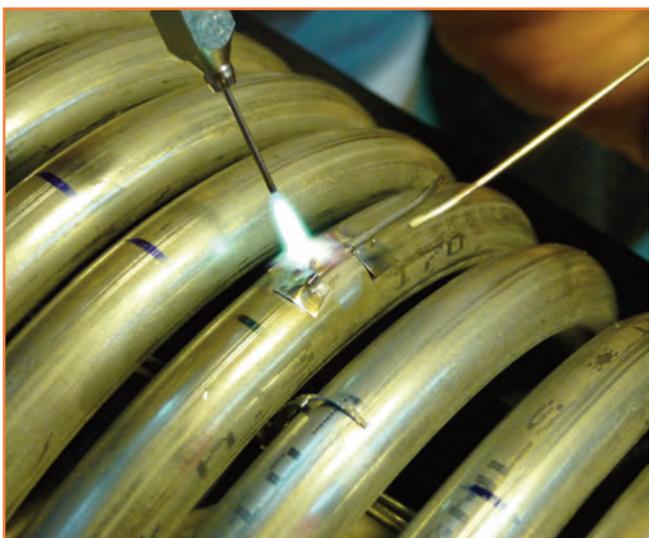
- fibre ottiche per sensori nell'infrarosso sfruttanti la variazione dell'indice di rifrazione;
- microlavorazioni meccaniche di vario genere anche con l'ausilio del microscopio;
- microbrasature sottovuoto per strumentazione speciale di sezioni di misura;
- microsaldatura con ossidrogeno;
- elettronica di gestione e trattamento dei segnali per confezionare sistemi di misura completi e caratterizzati.



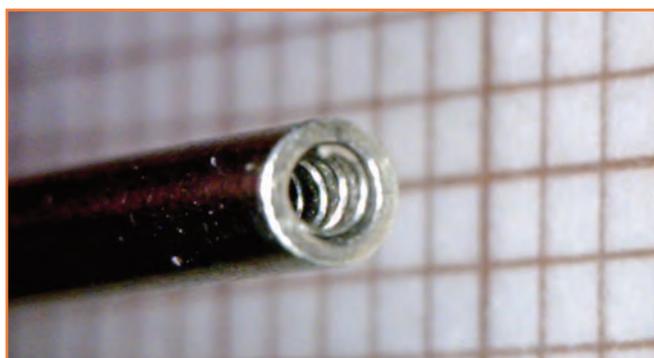
Termocoppie multiple – 3 punti di misura con termocoppie da 0,5mm



Tubo di pirex con avvolto un riscaldatore elettrico non corazzato e una termocoppia incollata



Microbrasatura di una termocoppia con ossidrogeno



Microlavorazione: inserimento agitatore all'interno di un microtubo

SISTEMI SPERIMENTALI PER L'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA

Nell'ambito dello sviluppo di tecnologie per l'uso razionale dell'energia nei settori dell'illuminazione e degli elettrodomestici, le infrastrutture sperimentali attraverso le quali l'Unità opera sono finalizzate all'esecuzione di prove e studi su prototipi per:

- il risparmio energetico nell'illuminazione (pubblica, residenziale, terziario) con test di laboratorio, qualificazione illuminotecnica e ricerca innovativa (LED/OLED);
- la qualificazione energetica di elettrodomestici del freddo e cottura (direttiva europea Ecodesign ed Etichettatura Energetica).



Laboratorio CORVO per le verifiche energetico-ambientali di sistemi di illuminazione

Il laboratorio CORVO consente l'esecuzione di prove, standard o ad hoc, per determinare consumo energetico, caratteristiche radiometriche, fotometriche e prestazioni di sorgenti luminose, apparecchi e sistemi in differenti condizioni di lavoro; svolgere studi sperimentali su prototipi innovativi; condurre verifiche sperimentali di software illuminotecnico; svolgere studi sulla percezione.

Potenziali utenti: industria; enti pubblici, associazioni consumatori; altri enti di ricerca; università.

Gli elementi tecnici essenziali che costituiscono e caratterizzano il laboratorio CORVO sono:

- la cella di prova, con dimensioni 4,5 x 4,5 x 3,2 m e dotata di sistema di movimentazione elettromeccanica del sensore di misura sugli assi x-y, che simula un comune locale,
- il dispositivo per misure su tubi di luce (GlowWorm),
- sfera di Ulbricht e banco ottico per misure su LED,
- lo spettroradiometro,
- strumentazione portatile per campagne sperimentali,
- una camera climatica per prove a diverse temperature ambiente e umidità relativa,
- strumentazione termografica,
- un'area esterna per misure su sistemi di illuminazione pubblica, inclusi sistemi di regolazione e gestione (PLuTO),
- una sfera di Ulbricht \varnothing 180 cm,
- un goniometro per piccole sorgenti,

Foto in alto: sorgenti luminose in prova

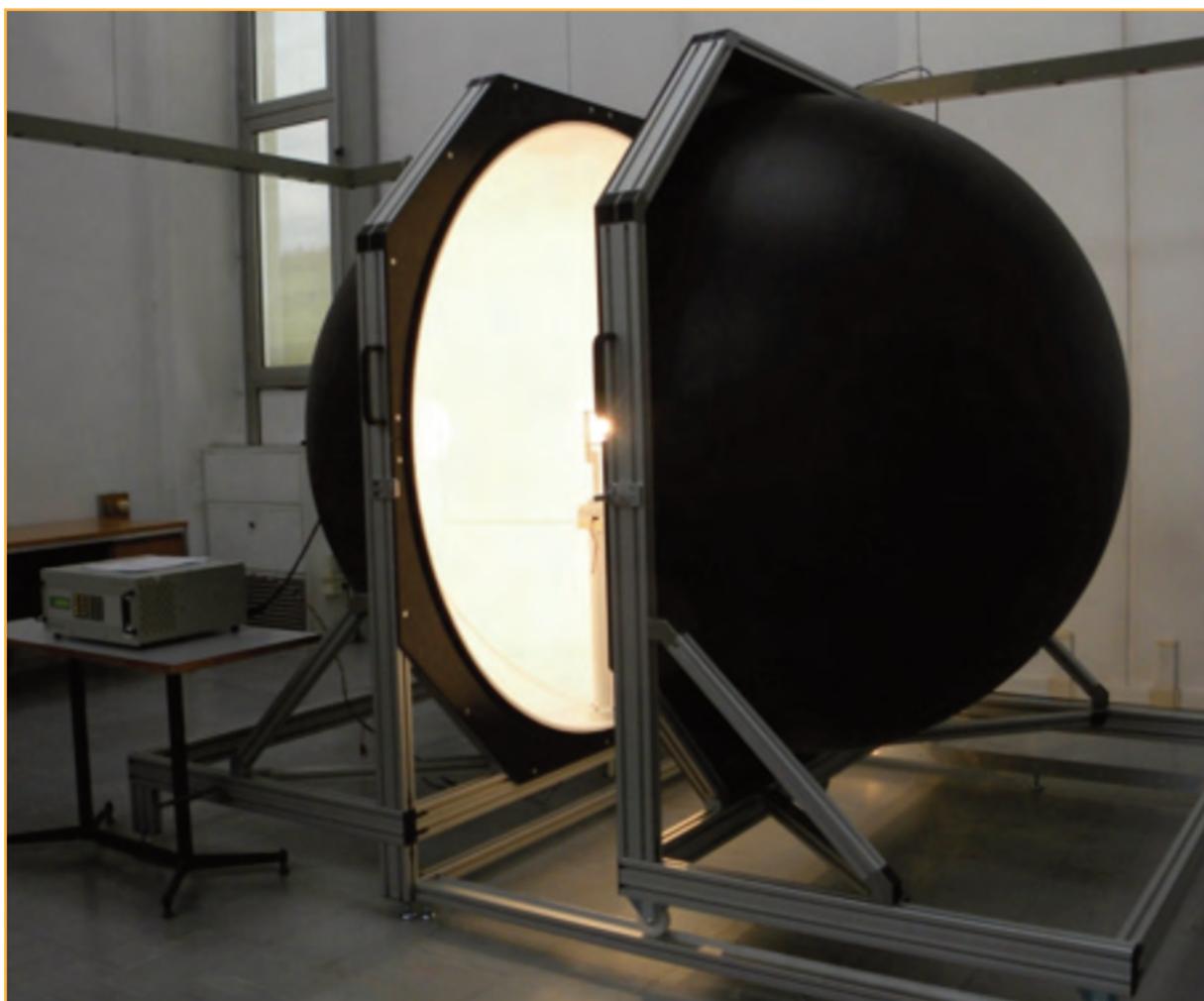
- 4 "light booth" per misure di percezione,
- dimensioni lineari e volumi, inclusa ricostruzione 3D (laser scanner).

Le principali attività svolte dal laboratorio CORVO riguardano:

- progetti sul tema "Tecnologie per il risparmio energetico nell'illuminazione pubblica" nell'ambito dell'accordo di programma ENEA-MSE sulla Ricerca di Sistema elettrico (conclusi e in corso),
- progetti Europei IEE (conclusi),
- supporto a MSE – Delegazione Italiana per Direttive Ecodesign ed Etichettatura Energetica,
- partecipazione a gruppi di lavoro normativi.

Maggiori informazioni possono essere trovate nei seguenti documenti (disponibili online tra i Report della Ricerca di Sistema elettrico sul sito ENEA):

- Il laboratorio di prova per le verifiche energetico-ambientali di sistemi di illuminazione "CORVO",
- Il laboratorio ENEA sugli elettrodomestici del freddo e forni elettrici. Parte I: caratteristiche e potenzialità di prova. Parte II: caratteristiche, prime prove e potenzialità del laboratorio FIRELAB.



sfera di Ulbricht \varnothing 180 cm



Laboratori ICELAB e FIRELAB per verifiche energetico-ambientali di elettrodomestici del freddo e forni elettrici

I laboratori ICELAB e FIRELAB consentono l'esecuzione di prove, standard o ad hoc, per determinare il consumo energetico e le prestazioni degli elettrodomestici del freddo e dei forni elettrici, valutare l'impatto delle condizioni dell'ambiente esterno e delle abitudini degli utenti su prestazioni e consumi, valutare l'efficienza dei componenti, effettuare studi sperimentali su prototipi innovativi.

Potenziali utenti: industria; enti pubblici; associazioni consumatori; altri enti di ricerca; università.

Nei laboratori ICELAB e FIRELAB le prove vengono effettuate in camere climatiche le cui caratteristiche tecniche sono riportate nella tabella alla pagina successiva. Nelle camere climatiche si possono ottenere le condizioni al contorno previste dagli standard di misura, sia per elettrodomestici del freddo che per forni elettrici, con un controllo molto più accurato del richiesto.



Il laboratorio con le 3 camere climatiche
Foto in alto: forno in prova

Caratteristiche tecniche delle camere climatiche in dotazione ai laboratori ICELAB e FIRELAB			
Camera climatica	CC1	CC2	CC3
Dimensioni interne	2,40 m [W] 5,20 m [L] 2,95 m [H]	2,40 m [W] 5,40 m [L] 3,55 m [H]	1,475 m [W] 1,10 m [L] 0,95 m [H]
Superficie e volume utile	11 m ² 33 m ³	12 m ² 36 m ³	1,56 m ² 1,48 m ³
Temperatura di esercizio	+10 °C ÷ +48 °C	+0 °C ÷ +75 °C	-45 °C ÷ +180 °C in prove termiche +1 °C ÷ +95 °C in prove climatiche
Gradiente verticale	< 1 °C/m	< 1 °C/m	n.a.
Umidità relativa	30% ÷ 90%	30% ÷ 90%	10% ÷ 98%
Velocità aria	< 0,25 m/s	< 0,25 m/s	
Potenza elettrica massima assorbita	18 kW	43 kW	11,5 kW
Potenza termica massima smaltibile	1000 W	1000 W	4200 W in prove termiche 500 W in prove climatiche

La strumentazione in dotazione consente misure di: umidità relativa; velocità e temperatura dell'aria; temperatura (con termoresistenze e termocoppie); potenza elettrica; tensione di rete; corrente elettrica; frequenza di rete; dimensioni lineari e volumi, inclusa ricostruzione 3D (laser scanner); massa; emissione termica (termografia).

Le principali attività svolte riguardano: il progetto Ecoappliances di Industria 2015 (in corso); progetti su Etichettatura Energetica ed Ecodesign nell'accordo di programma ENEA-MSE sulla Ricerca di Sistema elettrico (conclusi e in corso); progetti Europei IEE (conclusi e in corso); il supporto al MiSE – Delegazione Italiana per Direttive Ecodesign ed Etichettatura Energetica.

Maggiori informazioni possono essere trovate nei seguenti documenti (disponibili online tra i Report della Ricerca di Sistema elettrico sul sito ENEA):

- Il laboratorio ENEA sugli elettrodomestici del freddo e forni elettrici: caratteristiche e potenzialità di prova.
- Il laboratorio ENEA sugli elettrodomestici del freddo e forni elettrici. Parte I: caratteristiche e potenzialità di prova. Parte II: caratteristiche, prime prove e potenzialità del laboratorio FIRELAB.



Frigocongelatori in prova



Camera climatica per misure su forni

SMART VILLAGE

Per lo sviluppo di un modello di smart cities l'Unità opera con un sistema che integra:

- *public smart lighting* (illuminazione efficiente e adattiva, PLC);
- *smart mobility* e monitoraggio ambientale (e-mobility pubblica, con sensori di posizione, velocità, passeggeri, monitoraggio qualità aria fisso e mobile);
- *smart building* (diagnostica remotizzata termica ed elettrica di edifici pubblici);
- *smart node* (rete interattiva per interfaccia tra cittadino e PA, informazione sui beni culturali, social network territoriale).



Impianto sperimentale di Smart Village

L'impianto è concepito per lo sviluppo di un modello integrato di Smart Village in grado di qualificare servizi smart applicabili anche in ambito urbano e include funzionalità di Smart Lighting, Smart Buildings Network, Smart Mobility e Piattaforma ICT.

Potenziali utenti: aziende del settore energetico e ICT.

Lo smart village rappresenta un'infrastruttura pilota di ricerca per dimostrare i paradigmi e le tecnologie delle Smart Cities applicate ad un distretto terziario omogeneo e controllato da un unico gestore.

Le applicazioni smart sono basate su tecnologie innovative disponibili sul mercato che includono funzionalità più avanzate, in particolare verso l'utilizzo delle tecnologie della "computing intelligence" con un approccio "energy on demand".

L'applicazione Smart Lighting consiste nella illuminazione di viali interni o indoor utilizzando le migliori tecnologie per ridurre i consumi energetici e fornire servizi smart su lampioni intelligenti. L'illuminazione stradale è di tipo adattivo cioè è in grado di regolare il flusso luminoso punto per punto in base al flusso di traffico veicolare e pedonale, diminuendo i consumi e migliorando la sicurezza; essa ha riguardato l'illuminazione adattiva delle torri faro del parcheggio del CR Casaccia con 67 punti luce telegestiti e con potenza nominale totale di 26,8 kW.

L'applicazione Smart Buildings consiste nella realizzazione di una rete di edifici "intelligenti" equipaggiati con sistemi sensoriali i cui dati vengono portati in real time sul sistema di supervisione dello Smart Village. Il sistema di supervisione delle applicazioni intelligenti sviluppate da ENEA provvede alla diagnostica avanzata e all'ottimizzazione della gestione. I risultati vengono inviati al BEMS

Foto in alto: lo Smart Village presso il CR ENEA Casaccia

(Building Energy Management System) per la attuazione delle strategie di controllo e, in relazione ai target, verso l'energy manager della rete o verso gli utenti.

La realizzazione di una Smart Street, prevede la telegestione adattiva di un viale led e il controllo ottimizzato degli otto edifici (F66 - F72) che insistono sul viale.

L'applicazione Smart Mobility consiste nella realizzazione di sistemi per la mobilità intelligente e sostenibile all'interno del Centro e per il trasporto lavoro-abitazione. Una delle applicazioni si basa su dispositivi installati su una navetta elettrica per la raccolta e trasmissione dati verso i pali intelligenti e la infrastruttura del centro al fine di monitorare informazioni sullo stato del mezzo. L'applicazione Piattaforma ICT è trasversale e consiste nello sviluppo di una soluzione hw-sw ICT per l'integrazione dei dati provenienti dalle varie applicazioni verticali (smart lighting, smart mobility ecc).

L'ENEA fornisce le specifiche dei sistemi intelligenti coniugando le proprie competenze multidisciplinari e sviluppando metodologie di gestione e controlli dei servizi smart.

Lo sviluppo di un modello integrato di Smart Village rientra nel programma di ricerca sul tema delle Smart Cities che l'ENEA sta attuando. La sua realizzazione è prevista nell'ambito dell'Accordo di Programma con MSE per la Ricerca di Sistema Elettrico. Accordi di partenariato con aziende consentono di sviluppare congiuntamente ulteriori applicazioni smart.

Edito dall'ENEA
Servizio Comunicazione
Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma
www.enea.it

Revisione testi: Antonino Dattola
Grafica interni: Cristina Lanari
Copertina: Bruno Giovannetti
Foto: archivio ENEA e Fabio Conte

Stampa: Varigrafica Alto Lazio, Nepi (VT)
Finito di stampare nel mese di maggio 2013

