

Impianto a ciclo combinato alimentato a idrogeno

Franco Abbiati
Direttore della
Divisione Aeroto,
Gruppo Boldrocchi

Realizzato a Fusina, nel polo chimico di Porto Marghera, ha potenzialità di 16 MW

Crisi o non crisi, la produzione di energia elettrica comunque cresce e si sviluppa. Cresce soprattutto il ricorso alle fonti rinnovabili e al nucleare e, per dare energia alle case degli italiani e al sistema industriale, servono sempre più impianti e conseguentemente più adatti.

L'Italia, considerata nel mondo industriale il "fanalino di coda" in autonomia energetica, ha oggi, grazie a Enel, una centrale elettrica da 16 MW alimentata al 100% a idrogeno a Fusina, nel polo industriale di Porto Marghera. Un piccolo impianto, primo del suo tipo nel mondo, capace di soddisfare le esigenze energetiche di una comunità urbana di 60.000-80.000 persone, in grado di evitare l'immissione in atmosfera di quasi 20.000 t/anno di anidride carbonica. Infatti, l'idrogeno genererà soltanto vapore d'acqua e ossidi di azoto nel pieno rispetto dei limiti accettabili, prima di uscire dai camini di by-pass e caldaia. Abbiamo pertanto la possibilità di dire che le emissioni di gas sono quasi zero. Si tratta di un importante risultato, considerando le fondate ipotesi del progressivo riscaldamento del nostro pianeta, registrato in questi ultimi anni con un continuo accumulo nell'atmosfera dei gas serra.

Inoltre, non dobbiamo dimenticare che questo impianto si colloca nel mondo delle energie rinnovabili con quelle di origine solare o eolica ma, contrariamente a quest'ultime, possiamo dire che può essere considerata "alternativa" alla produzione di energia con le attuali fonti fossili o nucleari e non soltanto "integrativa".

L'idrogeno che finora era un prodotto di scarto dei cicli di lavorazione dell'etilene, oggi, grazie a una tubazione lunga 4 km, viene trasferito dal settore petrolchimico alla nuova centrale quale "combustibile" per la turbina a gas.



Il settore della generazione di energia elettrica è in continua crescita. Con la realizzazione dell'impianto pilota a idrogeno di Fusina, nel polo chimico di Porto Marghera, l'Italia, storicamente considerata fanalino di coda della Comunità Europea in fatto di autonomia energetica e investimenti nelle fonti rinnovabili, fornisce un esempio funzionante di energia a basso impatto ambientale. Si tratta di una vera alternativa, non più solo un'integrazione, alla produzione convenzionale di energia da combustibili fossili.

Questo impianto utilizza come combustibile l'idrogeno, prodotto di scarto del vicino polo chimico, producendo energia e vapore per le turbine dell'esistente centrale a carbone: un circolo virtuoso che immette in atmosfera emissioni di gas quasi pari a zero.

A 100% Hydrogen-Fired Combined-Cycle Power Plant

The power generation compartment is growing day by day, in spite of the economical crisis we are facing. With the hydrogen fired power plant in Fusina, chemical pole of Porto Marghera, Italy, traditionally considered as "rear light" in the European Community with respect to the energetic independence and investments in renewable energies, gives a working example of low-impact energy production, actual alternate and not only integration to the conventional energy production with fossil fuels.

This pilot installation fires hydrogen, coming as waste product from the neighbouring chemical pole, and produces energy and steam for the turbines of the coal-fired existing plant: a positive interaction resulting in very limited emissions to the atmosphere.



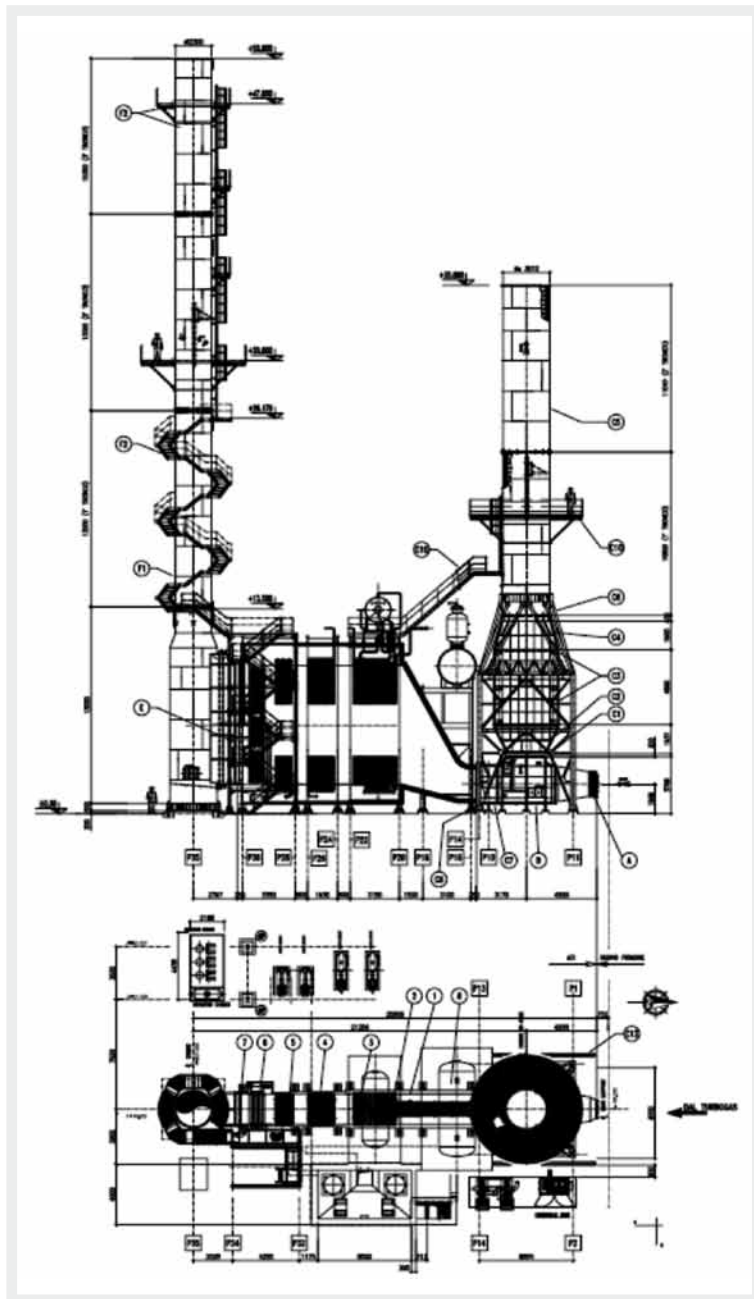
Il calore di scarto dell'impianto viene inoltre utilizzato per produrre vapore che, a sua volta, alimenta la turbina a vapore nella vicina centrale a carbone. La Società Boldrocchi, con la sua divisione Aeroto (all'avanguardia a livello mondiale in questo settore), in Associazione Temporanea di Impresa con

la Società Calortec, ha progettato, costruito e montato l'intero sistema di scarico: dalla flangia di scarico della turbina al camino di caldaia. Il sistema è comprensivo di diverter, camino di by-pass, caldaia a recupero e camino finale. La **figura 1** riporta il layout dell'impianto. La **figura 2** è un rendering del progetto iniziale, mentre la **figura 3** è una panoramica dell'impianto in attività.

Per la peculiarità dell'installazione il progetto è stato sviluppato con cura, in particolare riguardo a:

- dimensionamenti eseguiti utilizzando i più moderni software a elementi finiti disponibili sul mercato: progettazione strutturale FEM, analisi fluidodinamica CFD (C..... F..... D.....) e valutazione di impatto acustico previsionale, si riporta una sintetica illustrazione nelle **figure 4, 5 e 6**
- selezione dei materiali, sia ferrosi che non, in funzione delle specifiche condizioni e problematiche di impiego, legate soprattutto alle alte tem-

Fig. 1 – Layout dell'intero sistema di scarico



perature in gioco, alla velocità dei gas di scarico all'interno dei condotti e, non ultimo, al tipo di combustibile impiegato.

Di seguito sono riportati alcuni dati tecnici dei principali componenti che danno un'idea, seppur parziale e limitata, dell'importanza del progetto e della sua complessità.

Turbina a gas

È della General Electric, tipo GE10-1, con albero singolo a 11 stadi di compressione e 3 stadi di turbina:

- temperatura del gas in ingresso 1070 °C
- rapporto di compressione 15,5
- temperatura del gas in uscita 482 °C
- portata del gas 47,5 kg/s
- velocità di rotazione 1100 giri/min

Diverter

È una valvola a tre vie che convoglia i gas di scarico provenienti dalla turbina verso l'atmosfera attraverso un camino di by-pass oppure alla caldaia a recupero.

Componenti principali del diverter sono:

- cassone in acciaio al carbonio rinforzato con profili esterni;
- coibentazione interna composta da fibra ceramica e lana di roccia basaltica, contenuta da lamiere in acciaio inossidabile fissate con pioli e rondelle; le lamiere saranno sovrapposte, nella direzione del flusso, in modo da poter prevenire un impatto diretto tra il flusso e possibili fessure tra le lamiere;
- pala in acciaio inossidabile collegata all'albero tramite un opportuno sistema di perni e leve (in configurazione cosiddetta *toggle-arm*, in grado di assicurare, rispetto ad altre tipologie, un miglior appoggio della pala sulla sua sede); la pala è coibentata con fibra ceramica coperta da lamiere in acciaio inossidabile fissate da pili e rondelle; su entrambi i lati è previsto un dispositivo di tenuta;
- sistema di tenuta realizzato con lame in Inconel 625 compresse dalla pala contro il canale dell'aria di sbarramento; l'aria viene pompata nei canali da due ventilatori (uno in stand-by);
- sistema idraulico: la rotazione dell'albero è realizzata da due cilindri idraulici posizionati all'esterno del cassone diverter e collegati all'albero tramite leve; i cilindri sono controllati da una centralina idraulica controllata che si interfaccia direttamente con il DCS (*Digital Control System*) d'impianto;
- sistema di drenaggio posto inferiormente per scaricare l'acqua piovana in caso di inattività dell'impianto;
- strumentazione di bordo consistente in 6 *limit swithes* e un trasmettitore angolare per la regolazione e il controllo della posizione della pala.

Sistema di bypass

Si tratta di un camino di by-pass alto 35 m soste-

nuto da una struttura portante fissata a terra, coibentato internamente, libero di assorbire le dilatazioni termiche dovute al passaggio dei gas di scarico ad alta temperatura. La progettazione con isolamento interno permette un alto grado di prefabbricazione in officina, per cui il tempo di installazione in sito può essere ridotto di circa un quarto in confronto a condotti simili isolati esternamente. Inoltre, viene evitato il deterioramento dei materiali dovuto al trasporto e agli agenti atmosferici.

L'isolamento interno viene effettuato in accordo alla tecnica di *cladding*, vale a dire con l'installazione di pannellature flottanti in lamiera a protezione degli strati di lana minerale e/o di fibra ceramica stesi sulle pareti interne del condotto.

In questo caso il materiale fonoassorbente e termoisolante (lana minerale/fibra ceramica) è protetto da pannelli in acciaio inox Astm Aisi 409, spessore 2-3 mm, parzialmente sovrapposti uno sull'altro e supportati da perni. I pannelli sono sovrapposti nella direzione del flusso, in modo tale che il flusso non venga ostacolato da qualsiasi possibile fessura tra di loro. I perni, aventi la funzione di supportare i pannelli, sono saldati alla lamiera dell'involucro esterno e sono in acciaio inox Astm Aisi 304. Tra il pannello e il perno viene inserita una rondella in Aisi 304 per permettere al pannello di alloggiare sul perno, mentre un dado in Astm Aisi 304 è fissato sul perno filettato per poter tenere il pannello in posizione. La fibra di ceramica utilizzata per l'isolamento ha una densità di 128 kg/m^3 prima del montaggio e una conduttività termica a $500 \text{ }^\circ\text{C}$, non superiore a $0,1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. La lana minerale ha una densità che varia da 150 a 80 kg/m^3 .

L'impianto è equipaggiato con sistemi di insonorizzazione in grado di garantire, lungo il perimetro dell'impianto a 1 m di distanza e a $1,5 \text{ m}$ di altezza da terra, un valore di livello di pressione sonora residuo equivalente di 75 dB(A) e un valore di 76 dB(A) a 1 m di distanza dalla bocca del camino.

Questi valori sono ottenuti in quanto all'interno del camino sono alloggiati dei pannelli fonoassorbenti, supportati al camino stesso con guide e supporti saldati al mantello esterno.

In caso di manutenzione i pannelli possono essere estratti dall'alto, dalla bocca del camino, con appositi mezzi di sollevamento.

L'orientamento di questi setti è parallelo alla direzione dei fumi in ingresso del sistema, e presentano delle codine aerodinamiche per ridurre al massimo le perdite di carico del sistema. Altre caratteristiche costruttive salienti dei setti fonoassorbenti sono:

- guscio in lamiera forata in acciaio inox;
- telaio e codine di ingresso e uscita in acciaio inox;
- cuscini speciali interni in lana minerale basaltica a fibre lunghe di densità (prima dell'installazione) 120 kg/m^3 e tessuto di fibra di vetro multistrato



Fig. 2 – In alto, rendering del progetto iniziale

Fig. 3 – Sopra, panoramica dell'impianto oggi in attività

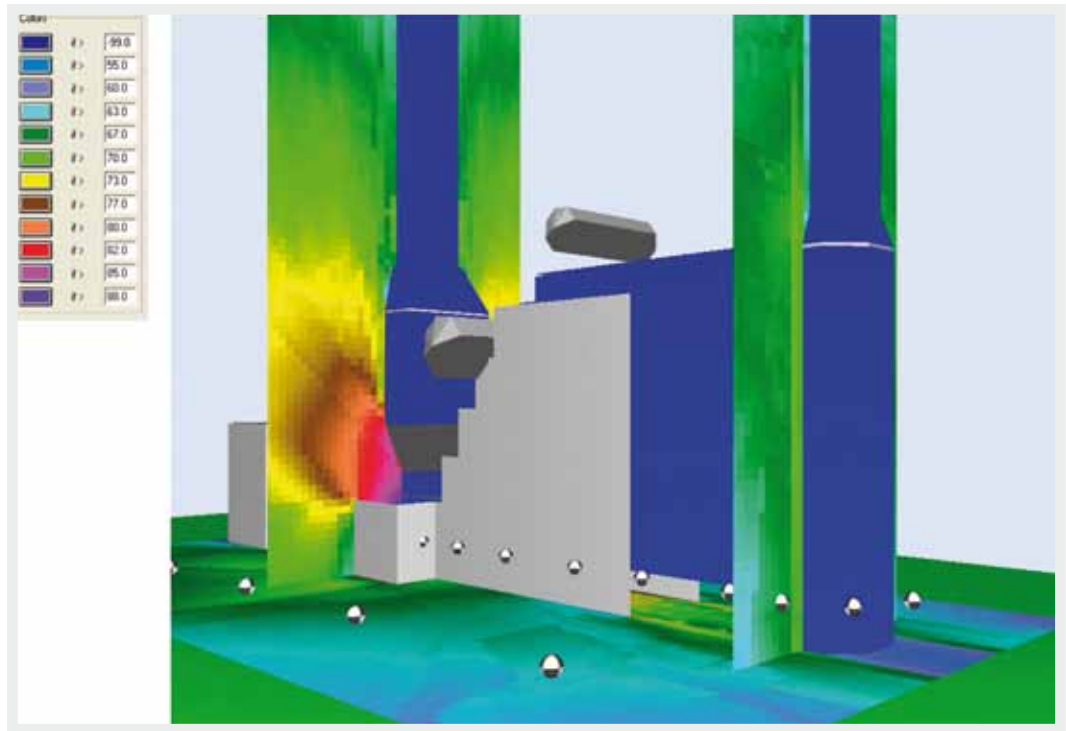
adatto per la temperatura di funzionamento e il logoramento. La superficie esterna dei cuscini è realizzata in tessuto HT 75 che presenta all'alta temperatura, in confronto a un normale tessuto E-glass, una riduzione significativamente più contenuta delle proprietà meccaniche, mantenendo così una capacità più alta di sopportare i carichi fluidodinamici e l'usura.

Degna di menzione è la presenza di una griglia raddrizzatrice e uniformatrice del flusso che investe i setti (*flow grid*), appositamente dimensionata per il caso attraverso una simulazione fluidodinamica. Anch'essa è realizzata con accorgimenti tecnici che ne permettono la libera dilatazione sotto il carico termico fornito dall'alta temperatura dei gas di scarico.

Caldia a recupero

Ha sviluppo orizzontale, produce vapore a 30 bar(g) e $340 \text{ }^\circ\text{C}$ utilizzando il calore dei gas di scarico della turbina a gas. I fasci tubieri in cui viene prodotto il vapore sono posti in ordine decrescente di temperatura, in modo da sfruttare il salto termico in maniera ottimale. Questo schema è chiamato "controcorrente" in quanto i due fluidi percorrono lo scambiatore in direzioni opposte. Infatti, lo scambio di calore con salto termico

Fig. 4 - Layout degli schermi acustici e mappa delle emissioni nella sezione verticale del camino bypass



troppo elevato ha come risultato un'alta irreversibilità, con conseguente ingente distruzione della disponibilità termica dei gas di scarico.

Dal suo ingresso nel GVR (G..... V..... R.....) i fumi, alla temperatura di 471 °C, scambiano con i diversi banchi nella seguente sequenza:

- surriscaldatori SH1 e SH2;
- evaporatore EVA;
- economizzatore ECO;
- recuperatore a condensazione REC 1;
- recuperatore a condensazione REC 2.

Alla fine dello scambio termico i fumi sono instradati in atmosfera a una temperatura di 41 °C tramite il camino finale.

L'installazione è corredata da una serie di impianti

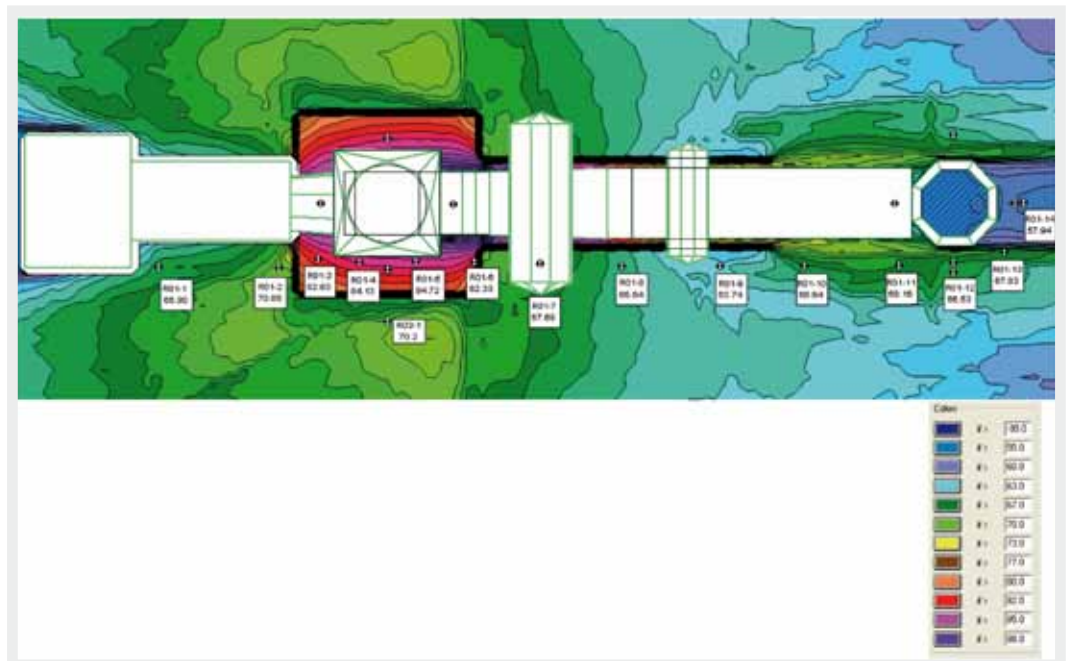
ausiliari, ciascuno dei quali dotato dei rispettivi dispositivi di controllo e relativa strumentazione.

- sistema pompe di alimento;
- sistema spurghi di caldaia;
- sistema di recupero delle condense;
- sistema di additivazione chimica del ciclo;
- sistema di conservazione in azoto.

Camino finale

È realizzato interamente in acciaio inossidabile per prevenire problemi dovuti alla condensa dei fumi. Il camino è composto da quattro tronchi per un'altezza totale di 50 m. All'interno della bocca di ingresso di sezione rettangolare è installato il sistema demister che elimina la condensa dai gas in uscita

Fig. 5 - Mappa delle emissioni all'altezza di 1,5 m; configurazione con schermi acustici



dalla caldaia, smontabile attraverso un apposito portello sulla sommità della bocca. Sono previsti degli scarichi di condensa per il demister e ai piedi del camino finale.

Il camino è coibentato esternamente con lana di roccia basaltica sostenuta da centine e chiusa tramite una lamiera preverniciata.

Al camino sono fissate le scale e i ballatoi che permettono l'accesso alla passerella predisposta per il rilevamento dei fumi (a quota intermedia) e alla passerella per manutenzione luci di segnalazione anti-aerea (sul top). Inoltre, è dotato di un impianto di illuminazione lungo tutte le vie pedonali.

Conclusioni

L'entrata in funzione di questo impianto apre di fatto la strada all'utilizzo dell'idrogeno come risorsa energetica di un prossimo futuro in Italia, con uno sviluppo concreto, insieme alle altre fonti rinnovabili, come l'energia solare o eolica, di energie alternative al carbone e agli idrocarburi.

Il nostro settore industriale dispone oggi di un progetto "chiavi in mano", piccolo ma completo, pronto per essere esportato in tutto il mondo. Infatti, i maggiori osservatori internazionali hanno già guardato con interesse a questa installazione. ■



Laureato in Fisica nel 1974 presso l'Università degli Studi di Milano con una tesi "Analisi dei problemi di insonorizzazione di una turbina a gas, progettazione e realizzazione di un adatto silenziatore", Franco Abbiati è oggi Direttore della Divisione Aero del Gruppo Boldrocchi.

Impegnato da sempre nel campo dell'acustica, attraverso varie esperienze di lavoro

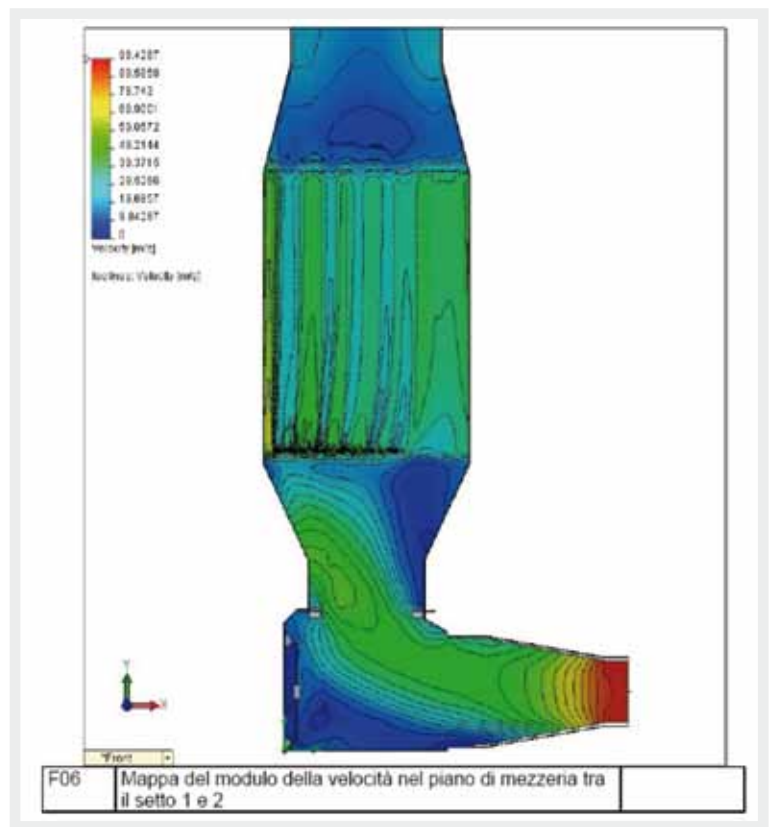


Fig. 6 - Mappa del modulo della velocità nel piano di mezzera tra i setti 1 e 2

nelle più importanti aziende italiane nel settore, ha sviluppato un'ampia esperienza tecnica-progettuale di sistemi di insonorizzazione. Interlocutore con la Deutsche Babcock Aktg, con la Bolt Beranek and Newman Inc., negli anni Ottanta e Novanta ha affrontato molteplici problematiche nel campo dell'acustica.

È stato membro di gruppi di lavoro nella Commissione Acustica dell'UNI e nel Comitato Tecnico di Acustica dell'Anicta (Associazione Nazionale Imprenditori Coibentazioni Termo-Acustiche); è oggi presidente del Ciadi (Unione Costruttori Impianti e Apparecchiature di Insonorizzazione).