

Cogenerazione non convenzionale

Progettata da Foster Wheeler Italiana una centrale di cogenerazione all'interno di un complesso petrolchimico ad Anversa. Vincoli rigidi e condizioni difficili per questo grande impianto in corso di installazione su meno di 2000 m²

F.Biondi*
E. Kocayigit*

Autoprodurre in maniera combinata elettricità e calore comporta una serie di vantaggi a partire dall'efficienza globale dell'impianto che raggiunge una percentuale significativamente superiore a quello convenzionale (senza recupero termico), dove si verifica una dispersione del calore del 60 per cento. Altri vantaggi sono: la diminuzione dei costi, il risparmio di energia, la riduzione di emissioni di CO₂, la salvaguardia dell'ambiente nonché una strategica



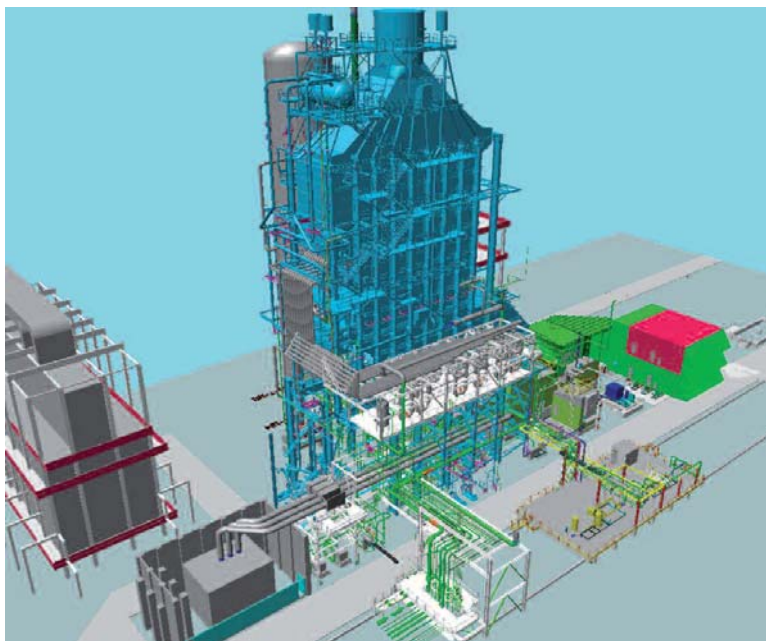
indipendenza energetica a tutto vantaggio del business primario.

All'inizio del 2006 un importante cliente internazionale ha commissionato a Foster Wheeler Italiana la progettazione esecutiva e la realizzazione di una centrale di cogenerazione all'interno di un grande complesso petrolchimico situato nella zona industriale di Anversa, Belgio. La peculiarità del progetto risiedeva nella necessità di conciliare diversi requisiti tecnici con condizioni al contorno particolarmente rigide: una superficie occupabile estremamente limitata; condizioni del terreno non ottimali; la prossimità con unità di processo e stoccaggio funzionanti e non segregabili; l'integrazione operativa con l'impianto esistente; specifiche stabilite dal cliente molto articolate e complesse e limiti di legge notevolmente severi.

Foster Wheeler Italiana aveva già sviluppato nei mesi precedenti il design concettuale dell'impianto e ciò ha facilitato il passaggio allo stadio successivo. Il prolungamento del contratto anche per la fase esecutiva ha garantito infatti quella continuità e uniformità di approccio indispensabile per gestire la complessità di un evento multidisciplinare così articolato. Completato il complesso e complicato percorso autorizzativo, la nuova unità di cogenerazione è ora in corso di installazione su un'area complessiva di meno di 2000 m².

Il progetto

Scopo del lavoro era quello di realizzare una unità di cogenerazione costituita da un turbo generatore alimentato a gas naturale (potenza nominale 123 Mwe ISO), da una caldaia in grado di produrre 170 t/h di vapore (@ 42 barg e 420°C), da un trasformatore elevatore da 153 MVA e dai relativi sistemi ausiliari e di supporto. La caldaia, dotata di una robusta sezione di post combustione, doveva inoltre integrare il forno esistente per il riscalda-



Modello PDS dell'impianto di Cogenerazione. L'ingegneria è stata sviluppata con l'impiego di un software 3D che ha permesso di considerare tutti gli aspetti multidisciplinari della progettazione.

mento della carica ad una confinante unità di distillazione atmosferica, fornendo calore per 900 t/h di idrocarburo crudo. Un'ulteriore porzione di attività era rappresentata dagli estesi e difficoltosi lavori per l'esportazione della potenza elettrica generata, da realizzarsi tramite cavi interrati ad alta tensione e nuove sottostazioni, e dal completamento delle reti di interconnessione dei fluidi. Una grande enfasi è stata naturalmente data a tutti quegli aspetti che riguardano la sicurezza. Già durante la fase di design, conducendo appositi audit e sviluppando scelte progettuali ad hoc, l'aspetto della salvaguardia e dell'integrità delle persone e degli impianti è stato tenuto nella massima considerazione fino a diventare il primo obiettivo di progetto. Questa attenzione, che come è noto è parte fondamentale della cultura Foster Wheeler, è stata trasferita e, se possibile, ancora più enfatizzata nel passaggio alla fase esecutiva in cantiere. Le condizioni particolari alle quali si faceva cenno precedentemente hanno "guidato" l'architettura d'impianto condizionando alcune scelte progettuali.

Proprio la ridotta disponibilità dell'area ha costretto, infatti, ad orientare la progettazione in direzione verticale prevedendo la realizzazione di una imponente struttura metallica in elevazione, sopra la quale installare la caldaia vera e propria: E' stato possibile così creare a terra lo spazio per altri componenti e macchinari. Inoltre la specifica funzione svolta dalla caldaia ha imposto lo sviluppo di una logica e di un sistema di controllo particolarmente sofisticati per garantire l'affidabilità richiesta da un impianto al servizio di un processo di raffinazione. Proprio la necessità di conciliare esigenze tanto diverse tra loro e, a volte, contrastanti ha stimolato la creatività del team con la messa a punto di una configurazione complessiva che, a buona ragione, si può considerare "non convenzionale".

La progettazione di un'unità di cogenerazione ha sempre come componenti critici la caldaia e la turbina. In questo caso però alle difficoltà classiche si sono aggiunte quelle dovute all'esiguità dello spazio disponibile ed al posizionamento della nuova unità



Pali della sottostazione. I pali utilizzati sono del tipo "Screw Piles", realizzati senza asportazione di terreno e senza vibrazioni, mediante l'infissione di una punta ed un tubo camicia con l'azione combinata di una coppia torcente ed una forza assiale.

all'interno di una raffineria con unità di processo e di stoccaggio in funzione nelle immediate vicinanze.

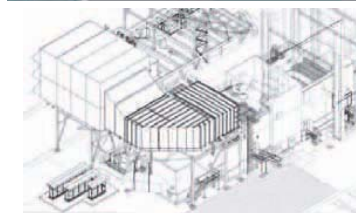
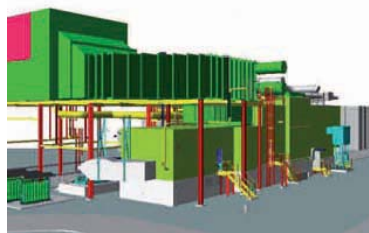
Queste criticità sono state in parte risolte adottando una configurazione "verticale", cioè, come detto, caratterizzata dal posizionamento della caldaia al di sopra di una struttura. Questa configurazione ha però generato a sua volta altre criticità di natura prettamente civile, prima fra tutte l'esigenza di progettare le fondazioni tenendo conto del poco spazio disponibile e dell'effetto reciproco che fondazioni così vicine, visto la natura del suolo, possono indurre sui cedimenti.

La sensibilità dei macchinari ai cedimenti ha richiesto inoltre un dimensionamento delle fondazioni principali estremamente sofisticato ed un monitoraggio continuo durante le varie fasi di costruzione.

Struttura e fondazione della caldaia

La caldaia, che tramite l'utilizzo dei gas esausti della turbina permette la generazione del vapore utilizzato all'interno della raffineria, è progettata per produrre vapore ad una pressione di 42 barg, ad una temperatura di 420°C, ed integrare l'energia termica necessaria per la carica all'unità di distillazione atmosferica esistente. La

caldaia consiste in una struttura di supporto e da diversi moduli in pressione, che compongono la sezione di generazione, installati all'interno della struttura. Come già indicato, le esigenze di massimizzare lo spazio esiguo a disposizione per la nuova unità di cogenerazione hanno portato ad una configurazione "verticale" con l'innalzamento della base della caldaia ad un'elevazione di circa 16 m ed il posizionamento della stessa sopra la parte finale del treno della turbina. La struttura di supporto della caldaia, realizzata in carpenteria metallica, è alta 60 m, ha dimensioni in pianta di circa 26 x 19 m e può essere suddivisa in due porzioni principali, una parte inferiore

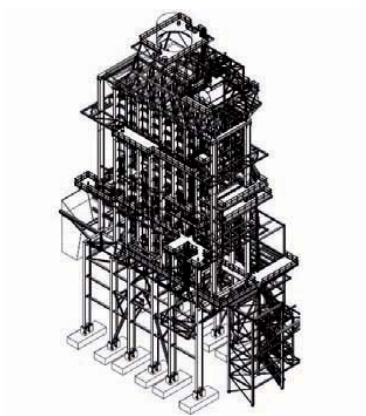
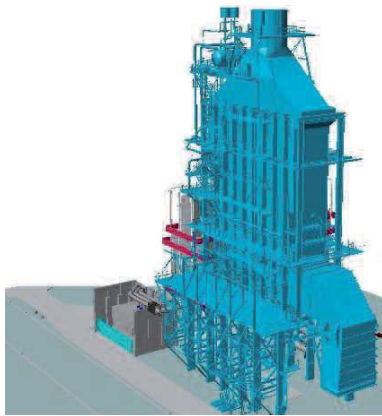


Dettaglio del modello PDS della presa d'aria della turbina a gas

ed una superiore. La struttura inferiore (fino a quota 16 m) è caratterizzata da 6 telai di luce 15 m circa, larghezza dettata dall'esigenza di fare spazio ad una parte della turbina a gas; sulle travi a quota 16 m si imposta la struttura superiore, realizzata da telai molto stretti e alti (dimensioni in pianta 26 x 7 m circa) ed ha la funzione di supportare la caldaia. All'interno della struttura superiore vengono sollevati i moduli che, una volta uniti fra di loro, costituiscono il cuore del sistema di produzione del vapore e di riscaldamento della carica di idrocarburo. A unità ultimata la sezione in pressione risulta essere sospesa alle travi a quota 50 m. La struttura è completamente bullonata. Le dimensioni e la forma dell'unità (alta e snella) la rendono sensibile ai carichi da vento poiché forma una sorta di "vela" direttamente esposta alla pressione del vento. Per garantire la stabilità di questa struttura e minimizzarne gli spostamenti sotto carico sono stati realizzati dei controventi nella parte inferiore e delle travi reticolari di piano per garantire la stabilità laterale della parte superiore. La struttura metallica è stata protetta dal fuoco rivestendo pilastri, travi e controventi con un prodotto non convenzionale, particolarmente leggero e performante.

L'applicazione del fireproofing è stato fatto in officina in modo da minimizzare i tempi di montaggio in cantiere, andando a completare in campo solo le zone in corrispondenza dei collegamenti bullonati. Le fondazioni sono realizzate mediante due travi di dimensioni 32 x 6.4 x 1.2 m supportate da 74 pali complessivamente.

Analogamente a quanto fatto per la fondazione del turbogeneratore, per la progettazione delle fondazioni si è ricorso ad un modello ad elementi finiti che ha permesso di valutare le sollecitazioni ed i cedimenti grazie



Dettagli del modello PDS dell'unità HRU (caldaia e struttura). La struttura di supporto della caldaia, realizzata in carpenteria metallica, è alta 60 m ed è posizionata "a cavallo" della turbina al fine di ottimizzare il poco spazio disponibile. La "verticalizzazione" dell'impianto è stata una delle principali innovazioni che ha comportato notevoli difficoltà progettuali.

all'impiego di elementi elastici per simulare la rigidezza dei pali. Le fondazioni della caldaia sono state separate da quella della turbina in modo da non trasmettere le vibrazioni alla struttura, pur risultando molto vicine fra di loro.

Modulo piping bordo caldaia

Estremamente significativa è stata la soluzione individuata per la progettazione e l'esecuzione della struttura di supporto delle tubazioni bordo caldaia.

La scelta originale di procedere con la modularizzazione di questa struttura è stata la risposta più convincente identificata dal team multidisciplinare costituito ad hoc.

Il modulo, nella sua configurazione definitiva, è costituito da una struttura di travi metalliche che si appoggia direttamente sul piano a quota +16 m destinato a sorreggere i telai portanti della caldaia.

Contiene e supporta un complesso sistema di tubi, l'insieme delle valvole di controllo della carica ed una passerella di servizio; sulla struttura è stato inoltre installato il vaso di espansione del circuito di anti-icing della turbina a gas ed il sistema di antincendio a copertura di eventuali pericoli generati dalla perdita di idrocarburo dalle stazioni di controllo.

Il peso complessivo è di circa 170 tonnellate, tutto sommato contenuto rispetto alle dimensioni complessive del modulo; va ricordato che, come già fatto per la struttura della caldaia, la protezione passiva antincendio è stata ottenuta applicando un prodotto innovativo a basso peso specifico, accorgimento che ha permesso di mantenere il carico totale entro limiti accettabili.

Il modulo è stato disegnato per poter essere assemblato, montato e strumentato in un settore separato del cantiere, per poi essere trasportato con appositi carrelli semoventi fino ai piedi della caldaia.

Questa scelta ha consentito tra l'altro di diminuire l'affollamento dell'area principale di lavoro a tutto vantaggio della sicurezza.

Il sollevamento finale e l'installazione sono state eseguite successivamente con l'ausilio di una gru cingolata da 800 tonnellate di portata nominale.

E' interessante notare che, per contenere le tempistiche e non causare impatti al programma generale di progetto, le tubazioni e gli strumenti verranno montati a terra ed analogamente l'esecuzione dei test di pressione, la verniciatura e l'isolamento termico saranno completati prima del sollevamento finale.

Valutazione e monitoraggio dei cedimenti

La notevole vicinanza fra i pali delle fondazioni della caldaia e del treno turbogeneratore poteva indurre cedimenti differenziali. L'effetto era reso ancora più critico dalle diverse tempistiche di costruzione che hanno richiesto l'installazione e l'allineamento della turbina in anticipo rispetto all'inizio dell'installazione della struttura e della caldaia. Per valutare gli effetti indotti dai carichi della caldaia sulla fondazione della turbina, effetti che possono avere conseguenze sulla funzionalità della turbina stessa, si è proceduto ad una valutazione accurata dei cedimenti nei punti più significativi e considerando le diverse fasi costruttive. A supporto e conferma della valutazione teorica dei cedimenti fatta sulla base dei parametri geotecnici, è stato programmato un attento monitoraggio dei cedimenti durante la varie fasi di costruzione e di messa in marcia dell'impianto. La misura del comportamento reale delle fondazioni della turbina e della caldaia è stata effettuata con l'impiego di un sistema satellitare del tipo GPS ad alta precisione monitorando 16 punti sulla fondazione della turbina e circa 6 punti sulle fondazioni della caldaia. I cedimenti sono stati registrati due volte a settimana ed in corrispondenza di ogni fase di costruzione (installazione della turbina, installazione della struttura caldaia nei vari step di carico, ecc.). Il confronto fra i cedimenti calcolati e quelli effettivi misurati in campo ha finora evidenziato che questi ultimi sono risultati sempre inferiori a quelli massimi calcolati ed ha permesso di valutare l'accettabilità della fondazione ai fini della funzionalità della turbina.

* F. Biondi, Engineering Manager, Foster Wheeler Italiana, Milano

* E. Kocayigit, Civil Engineer, Foster Wheeler Italiana, Milano