



L'Opera di Firenze è la nuova sede del Maggio Fiorentino: un complesso polifunzionale all'avanguardia sotto il profilo tecnologico e di assoluta eccellenza per le performance acustiche (Studio Maggi, Moreno Maggi).

Dietro il sipario

L'Opera di Firenze è una delle grandi architetture civiche che, negli ultimi anni, stanno arricchendo la vita pubblica e l'immagine del capoluogo toscano con edifici in grado di dialogare con i monumenti storici e il tessuto cittadino.

Giuseppe La Franca

Nata per dotare la città di una struttura capace di ospitare un'offerta di primo livello nel mondo della musica e del teatro (lirica, balletto, musica concertistica e da camera, ma anche contemporanea e rock), l'Opera è un edificio polifunzionale all'avanguardia sotto il profilo tecnologico e di assoluta eccellenza quanto a "performance" qualitative.

Costato complessivamente circa 256 milioni di euro e destinato alla nuova sede del Maggio Fiorentino, il complesso è stato inaugurato in occasione delle celebrazioni del 150esimo anniversario dell'Unità d'Italia, ed è stato parzialmente completato nel maggio 2014 con esclusione dell'Auditorium.

Le condizioni di comfort ambientale sono mantenute da un impianto di climatizzazione costituito da unità destinate esclusivamente al pretrattamento dell'aria esterna di rinnovo e da unità di post-trattamento (operanti con una miscela di aria esterna pretrattata e di aria ricircolata) dedicate alla climatizzazione dei singoli ambienti o di gruppi di ambienti.

Spazi e funzioni

Frutto di un appalto concorso aggiudicato alla fine del 2007, l'Opera di Firenze è parte integrante del programma di riqualificazione del comparto delle Cascine, una vasta area posta fra il quartiere di Porta al Prato e il corso dell'Arno, occupata da aree ex in-

dustriali dismesse, zone a verde pubblico, impianti sportivi e dalla Stazione Leopolda. Il progetto dello studio ABDR risponde a un articolato programma funzionale e simbolico, non solo dal punto di vista architettonico e culturale. Circondato da ampi spazi pubblici e dalla principale area verde della città, l'Opera si pone come elemento architettonico emergente svolgendo un ruolo di connessione tra la città e il parco.

Ordinato da un sistema di assi paralleli che innerva l'intera area, l'edificio dialoga con il proprio contesto mediante una serie di piani e volumi che articolano piazze, giardini e terrazze, al centro dei quali prende forma il sistema delle sale e degli spazi della rappresentazione che culmina nella spettacolare Cavea in copertura. Il concept progettuale prevede un grande basamento, sorta di zoccolo inclinato dal quale emergono i volumi massivi della sala del Teatro e dell'Auditorium, dominati dalla torre scenica – alleggerita dal particolare trattamento dell'involucro - che funge da fondale per la Cavea. L'edificio presenta un'impronta a terra pressoché rettangolare, con il fronte principale orientato a sud-est, in direzione del sistema di piazze verdi che digrada verso i viali della Circonvallazione. L'acces-



Il foyer del Teatro è uno sofisticato ambiente di mediazione fra il sistema degli spazi pubblici esterni e la sala principale dell'Opera: l'impianto di climatizzazione è del tipo a tutt'aria (Pietro Paolini, TerraProject).

sibilità è garantita su tutti i lati, in modo da differenziare nettamente ingressi e flussi. I livelli ipogei sono destinati esclusivamente ai parcheggi, agli spazi scenici e ai locali tecnici, mentre dal piano terreno si sviluppano tutti i principali spazi collettivi:

- i foyer della sala del Teatro e dell'Auditorium, trasparenti verso l'esterno e comunicanti fra loro, affiancati da tutti gli spazi di supporto e dal connettivo indispensabili all'accoglienza, alla distribuzione e al relax del pubblico;

- la sala del Teatro (1.800 posti a sedere), per le rappresentazioni liriche e alle esecuzioni sinfoniche, la cui forma radiale posata lungo un piano inclinato è stata studiata per ottimizzare la visione e l'ascolto;

- la più raccolta sala dell'Auditorium (1.000 posti), ancora da realizzare, destinata all'attività concertistica e a piccoli spettacoli lirici e teatrali.

Sul fronte opposto si trovano:

- gli spazi scenici, ancora da realizzare, caratterizzati da zone di pavimento sbotolabili e, per il palcoscenico del Teatro, da piattaforme mobili (traslabili meccanicamente in verticale e in orizzontale) e fisse, idonee allo stazionamento e allo spostamento delle scenografie;

- tutti i locali di supporto agli artisti, agli operatori e al personale coinvolti nel funzionamento di questa complessa struttura teatrale.

La Cavea (2.400 spettatori) è situata sulla copertura della sala del Teatro: affacciato sul panorama urbano, questo spazio suggestivo è caratterizzato da gradinate in pietra rivolte verso la torre scenica ed è liberamente fruibile dai cittadini, come una sorta di osservatorio sulla città.

Una struttura versatile

Nell'Opera di Firenze, spazio architettonico e sistema strutturale trovano una piena integrazione e una diretta corrispondenza: eliminando rivestimenti e finiture, la forma dello scheletro portante (un sistema di pilastri, setti e travi in calcestruzzo armato gettato in opera) e dell'edificio completo sono praticamente sovrapponibili.

Questa scelta progettuale – ispirata a opere che hanno saputo sfidare il tempo, realizzate quando architettura e ingegneria non erano discipline separate – presenta importanti conseguenze soprattutto sotto il profilo del controllo della qualità acustica degli ambienti.

Dal punto di vista strutturale, il complesso

è formato da quattro diversi corpi di fabbrica identificabili con altrettante funzioni principali: i parcheggi interrati, posti sotto la piazza e i foyer; la sala del Teatro con la Cavea; l'Auditorium con la torre scenica e gli uffici.

Per evitare interferenze acustiche reciproche e dall'esterno, le due sale principali e i relativi spazi scenici e di supporto sono non solo sufficientemente distanti fra loro, ma anche strutturalmente separate, mediante giunti acustici, secondo il principio cosiddetto "box in the box".

Lo stesso vale anche per la cavea in copertura, le cui strutture sono disconnesse rispetto a quelle della sala principale sottostante. In questo modo, ciascuno degli ambienti ha potuto essere progettato indipendentemente dagli altri, sulla base di approfonditi studi specialistici, tenendo conto delle caratteristiche e dei requisiti degli spettacoli previsti.

Per garantire una programmazione densa e differenziata, il complesso mette non solo a disposizione tre diversi spazi per spettacoli, utilizzabili contemporaneamente, ma anche un progetto scenotecnico che facilita il rapido avvicendamento di eventi diversi, dall'opera al balletto, dai concerti di



Vivacizzato da immagini a tema, il guardaroba è climatizzato con ventilconvettori a quattro tubi e aria primaria a portata costante, con griglie di areazione integrate nei controsoffitti (Pietro Paolini, TerraProject).

tutti i generi musicali, fino agli spettacoli multimediali.

Fulcro di questa articolata e versatile "macchina per la cultura" è senz'altro il palcoscenico del Teatro, composto da un palco principale e da tre ausiliari delle stesse dimensioni, che saranno in grado in futuro di avvicinarsi dietro al boccascena e di permettere l'impiego di carrelli motorizzati per i cambi di scenografia, in tempi molto contenuti.

Anche il progetto illuminotecnico è stato concepito per offrire un'ampissima gamma di soluzioni adatte a diversi tipi di rappresentazione e spettacoli, mediante corpi illuminanti a led modulabili e un sistema di gestione di ultima generazione, che consentono di riprodurre con estrema precisione partiture luminose concepite per altre strutture teatrali.

Progetto termotecnico e varianti

La società di ingegneria Enetec ha curato la progettazione degli impianti fino al livello esecutivo. Causa l'impossibilità di dota-

I PROTAGONISTI DELL'IMPIANTO

Ente appaltante

Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato

arch. Elisabetta Fabbri

Responsabile del procedimento

ing. Giacomo Parenti

ATI realizzazione, scenotecnica

SAC Società Appalti Costruzioni, IGIT

Direzione tecnica

ing. Angelo Reale (SAC), ing. Francesco Lucernari (IGIT)

Coordinamento discipline specialistiche

ing. Angela Ranieri (SAC)

Progetto architettonico

ABDR Architetti Associati (arch. Maria Laura Arlotti, arch. Michele Beccu, arch. Paolo Desideri, arch. Filippo Raimondo)

Progetto strutture

Italingegneria

Progetto impianti

Enetec

Direzione lavori

arch. Giorgio Caselli

Consulenza impianti termomeccanici, BMS

LC Progetti

Modellazione CFD

YIT/Caverion

Consulenza impianti elettrici e speciali

ing. Claudio Pavone

Antincendio

ing. Massimo Bartaletti

Acustica teatrale e ambientale

Müller BBM (ing. Jürgen Reinhold)

Acustica (particolari esecutivi)

Biobyte

Illuminotecnica

Massimiliano Baldieri

Sistemi teatrali

M.o Pier Luigi Pizzi, Massimo Gasparon

Consulenza artistica

Gregorio Botta

Sicurezza

ing. Massimo Bartaletti

Geologia

DMS Engineering

I fornitori

Caldaie: Hoval

Unità terminali VAV, silenzianti acustici:

Sagicofim

Isolatori antivibrazione: Vibrostop

Gruppi frigoriferi: Trane

Torri di raffreddamento: Evapco

Elettropompe: Grundfos

Valvole di regolazione PIV: Belimo

Scambiatori di calore: Unex

Centrali trattamento aria: Euroclima

Ventilconvettori: Sabiana

Diffusori: Krantz

Antincendio sprinkler e diluvio: Viking

Evacuatori fumi: Woods

Sistema controllo impianti termo meccanici, b.m.s.: Schneider Electric

re le sottocentrali di condizionamento di idonee prese dell'aria esterna, l'impianto di ventilazione meccanica si basa sull'impiego di un sistema centralizzato di pre-trattamento dell'aria di rinnovo, costituito da quattro unità, che:

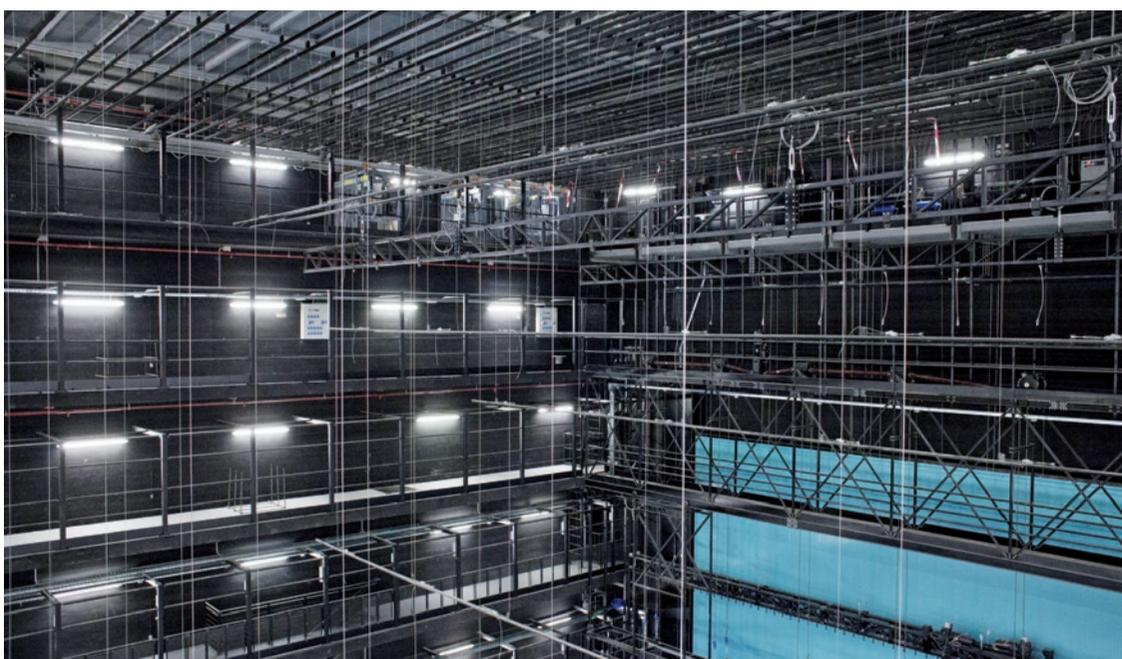
- prelevano l'aria esterna (portata massima 160.000 m³/h) mediante una unica presa;
- effettuano i trattamenti di filtrazione e di raffreddamento/deumidificazione o di preriscaldamento;

- distribuiscono l'aria esterna pretrattata alle unità di post-trattamento, ubicate nelle sottocentrali, e dedicate alla climatizzazione di singoli ambienti o gruppi di ambienti.

Un altro aspetto significativo del progetto è costituito dalla previsione di un impianto di solar cooling (ancora in parte da realizzare), a supporto del condizionamento estivo del complesso e basato su ruote dissecanti inserite in due delle quattro unità di pre-trattamento dell'aria. Il campo solare che sarà installato in futuro sulla copertura della torre scenica avrà una superficie di circa 580 m² e sarà composto da collettori a tubi sottovuoto.

In sede di progetto costruttivo sono state affrontate e risolte molte criticità emerse successivamente all'approvazione del progetto esecutivo. Rispetto alle previsioni, infatti, l'impatto del progetto scenotecnico è risultato particolarmente significativo in termini di aumento del carico termico connesso all'impianto di illuminazione scenica. Questo notevole incremento del carico termico non poteva che comportare un peggioramento delle condizioni di comfort del palcoscenico, della torre scenica e, anche, della sala.

Sono state inoltre risolti gli aspetti legati alle modifiche architettoniche ai layout dei foyer del teatro e dell'auditorium, nonché all'incremento degli spessori di alcuni setti portanti (necessari per ottemperare alle prescrizioni antisismiche richieste in sede di Conferenza dei Servizi) e all'inserimento di circuiti elettrici necessari per alimentare gli



apparati scenotecnici di elevata potenza. Il progetto costruttivo, comprensivo delle modifiche apportate al progetto termomeccanico originario e della stesura del relativo sistema di controllo e gestione, è stato sviluppato dalla società di ingegneria LC Progetti.

Gli impianti in sintesi

L'installazione e la messa in funzione degli impianti ha interessato ad oggi tutte le centrali tecnologiche, le principali reti di distribuzione dei fluidi e gli impianti di climatiz-

La perfetta acustica della sala del Teatro è garantita da una "rete" permeabile al suono: l'impiego di attenuatori acustici a setti fonoassorbenti annulla il rumore dell'impianto ad aria primaria (Studio ABRD).

Le modifiche apportate in sede di progetto costruttivo hanno permesso di mantenere la temperatura dell'aria in sommità della torre scenica, dove sono situati gli estrattori, entro il valore massimo di 33 °C (Simone Donati, TerraProject, Contrasto).



Per effetto della posizione delle centrali tecniche e della disponibilità di un unico punto di immissione, l'impianto di ventilazione è attestato su quattro u.t.a. per il pre-trattamento dell'aria (LC Progetti).



I cunicoli tecnologici cingono il piano interrato su tre lati: l'uso di condotte a spirale di distribuzione aerea è dovuto anche alla loro ridotta produzione di vibrazioni alle basse frequenze (LC Progetti).

ACUSTICA: ASPETTI STRUTTURALI E ARCHITETTONICI

Progettata per la rappresentazione di opere liriche, la sala del Teatro è concepita separando gli aspetti spaziali e visivi (la sala con gli ordini di palchi a ferro di cavallo) da quelli acustici, grazie a una "rete" permeabile al suono che:

- ha ricondotto la forma della sala a quella della struttura parallelepipedica che la contiene, più gestibile dal punto di vista della qualità della resa acustica;
- ha consentito una maggiore libertà nel trattamento delle superfici;
- ha ridotto al minimo gli interventi di ottimizzazione acustica successivi alla costruzione.

Riprendendo una tecnologia utilizzata nei teatri dell'opera costruiti nel XVIII e XIX secolo, le strutture orizzontali della platea e dei palchi sono formate da travi portanti in legno, che sostengono piastre in abete rosso (spessore 45 mm) sulle quali è postato il parquet in rovere.

Paramenti murari rifiniti a intonaco, pannelli in legno e cartongesso e speciali diffusori (per la dispersione delle frequenze medie e alte) e lamelle orizzontali (per la riflessione del suono verso il pubblico) realizzano le altre superfici acusticamente sensibili. La possibilità di ospitare concerti di musica sinfonica è affidata alla "conchiglia" acustica, smontabile e rimontabile in meno di 90 minuti, che consente di accogliere l'orchestra e il coro sul palcoscenico. Sono state installate anche tende fonoassorbenti mobili, utili in caso di spettacoli con sonorizzazione elettroacustica e di conferenze. Alloggiate a scomparsa nello spazio vuoto retrostante la rete, il loro posizionamento in sala permette di modificare i tempi di riverbero e di evitare fastidiose riflessioni del suono.

zazione a tutt'aria a servizio della sala del Teatro, dei palcoscenici, dei foyer, delle sale prova per sezioni e percussioni, per l'orchestra e per il ballo, della sala polifunzionale e dell'archivio musicale. Ha anche interessato gli impianti a ventilconvettori con aria primaria degli uffici, degli spazi connettivi, di parte dei camerini e cameroni, ecc.

Le centrali termica, frigorifera, di pompaggio (distribuzione dell'acqua calda e refrigerata), di pre-trattamento dell'aria esterna e le sottocentrali di post-trattamento dell'aria sono ubicate al piano interrato, dove si trovano anche la centrale idrica e la cabina elettrica di trasformazione.

L'acqua calda destinata alla climatizzazione ed alla preparazione dell'acqua calda sanitaria viene prodotta da 3 caldaie a condensazione (1.000 kW ciascuna). L'acqua refrigerata viene prodotta da 3 gruppi frigoriferi (1.500 kWf ciascuno) con compressori centrifughi bistadio e condensatori raffreddati



Tre gruppi frigoriferi da 1.500 kW ciascuno provvedono alla produzione dell'acqua refrigerata a 12 ± 7 °C; la dispersione del calore avviene mediante altrettante torri di evaporazione poste in copertura (LC Progetti).

con acqua di torre. Le tre torri evaporative sono installate sulla copertura della torre scenica. I sistemi idronici per la distribuzione dell'acqua calda e refrigerata sono costituiti da circuiti primari a portata costante e circuiti secondari e terziari a portata variabile. Le valvole di regolazione che regolano le portate d'acqua circolanti nelle batterie di scambio termico delle u.t.a. e dei ventilconvettori sono a due vie di tipo indipendente dalla pressione (valvole PIV). I circuiti secondari di distribuzione percorrono i tre cunicoli tecnologici e la sottocentrale di condizionamento ubicati al piano interrato lungo i quattro lati perimetrali del complesso teatrale.

Gli impianti dell'Auditorium, delle sale prova del coro e della regia, del ristorante, di una parte dei cameroni, etc. devono ancora essere realizzati. Nella maggior parte degli ambienti elencati, gli impianti a tutta aria operano con portata variabile.

Comfort per sala e foyer

Le quattro unità di pre-trattamento dell'aria (portata massima 40.000 m³/h ciascuna) operano con portata variabile ed intervengono in sequenza in base alla domanda delle unità di post-trattamento. La presa dell'aria esterna viene effettuata tramite un cavedio verticale ricavato nel volume tecnico del fabbricato, mentre l'aria in espulsione, dopo essere passata attraverso i recuperatori di calore rotativi delle unità di pre-trattamento, viene convogliata in un plenum situato in uno dei cunicoli tecnici e dotato di sbocco all'esterno.

Le condotte dell'aria pretrattata e dell'aria in espulsione percorrono i cunicoli tecnici fino a raggiungere le unità di post-trattamento. Queste ultime sono realizzate con una configurazione molto simile a quelle di normali unità che operano con portata d'aria esterna variabile, ma sono prive di serrande motorizzate. La porta d'aria ester-



Oltre alle caldaie a condensazione (circa 1.000 kW ciascuna), la centrale termica è predisposta per la futura integrazione con il campo solare termico con collettori a tubi sottovuoto per il solar cooling (LC Progetti).

na (aria pre-trattata) che viene immessa in ciascuna unità e la corrispondente portata d'aria in espulsione sono regolate da unità terminali VAV.

La variazione della portata d'aria della due VAV abbinate a ciascuna unità di post-trattamento è regolata in base al valore della concentrazione di CO₂ in ambiente, corrispondente al grado di affollamento. La maggior parte delle unità di post-trattamento operano a loro volta con portata d'aria variabile in base al variare dei carichi termici degli ambienti serviti.

L'impianto della Sala del Teatro è del tipo monocondotto a portata d'aria variabile, senza post-riscaldamento terminale. Dal punto di vista funzionale la sala è suddivisa in sette zone con regolazione indipendente della temperatura. Le sette zone sono costituite dalla platea, dalla galleria con i palchi del primo ordine, da ciascuno dei quattro palchi del secondo ordine e dalla

Tutte le reti idroniche prendono origine dalla centrale di pressurizzazione, dalla quale si diramano i circuiti a portata variabile che supportano le u.t.a. e gli altri terminali in ambiente (LC Progetti).

fossa orchestrale.

Le 2 unità di post-trattamento (portata massima 45.000 m³/h ciascuna) alimentano, tramite condotte, i plenum a tenuta d'aria (plenum pressurizzati non comunicanti tra loro) realizzati sotto gli impalcati in legno che sostengono le poltrone delle varie zone. La portata d'aria immessa in ciascun plenum è regolata da unità VAV. L'aria immessa nei plenum fluisce in ambiente tramite diffusori a dislocamento integrati nei supporti delle poltrone. Fa eccezione sopra la fossa orchestrale dove l'aria fluisce in ambiente tramite fessure ricavate negli impalcati. La ripresa dell'aria, sempre regolata da unità VAV, sfrutta il vano a controsoffitto soprastante la Sala, i punti luce anteriore e posteriore lo spazio soprastante il controsoffitto della Sala e gli spazi sottostanti la galleria.

Suddiviso in sei zone con controllo indipendente della temperatura, il Foyer del Teatro è climatizzato da un impianto monodotto a portata variabile con post-riscaldamento terminale, attestato su 3 u.t.a. (20.000 m³/h ciascuna), con aria distribuita



attraverso condotte che impegnano cavedi e controsoffitto e diffusori lineari, a controsoffitto. La ripresa è effettuata poco al di sopra del livello del pavimento, mediante asole ricavate in elementi decorativi, grazie a unità VAV. L'unico ambiente che non utilizza l'aria pre-trattata è il Palcoscenico.

Luci della ribalta

Sopraggiunto a lavori in corso, il progetto scenotecnico ha comportato, rispetto a quanto inizialmente previsto, un notevole aumento dei carichi termici determi-

nati dall'impianto di illuminazione del Palcoscenico. Questa situazione ha reso necessaria la completa revisione del progetto esecutivo dell'impianto di climatizzazione del Palcoscenico e degli spazi scenici. Le principali modifiche operate in sede di progetto costruttivo all'impianto di climatizzazione hanno interessato:

- il potenziamento dell'impianto di estrazione dell'aria dalla sommità della torre scenica (60.000 m³/h);
- l'utilizzo di sola aria esterna, perciò senza ricorso al pre-trattamento né al previsto

ACUSTICA: ASPETTI IMPIANTISTICI

Il controllo del rumore e delle vibrazioni ha costituito uno dei temi centrali anche nella progettazione degli impianti. In questo caso l'obiettivo era la ricerca del "silenzio" nelle normali condizioni operative – uno stato piuttosto difficile da raggiungere anche in ambienti appositamente progettati.

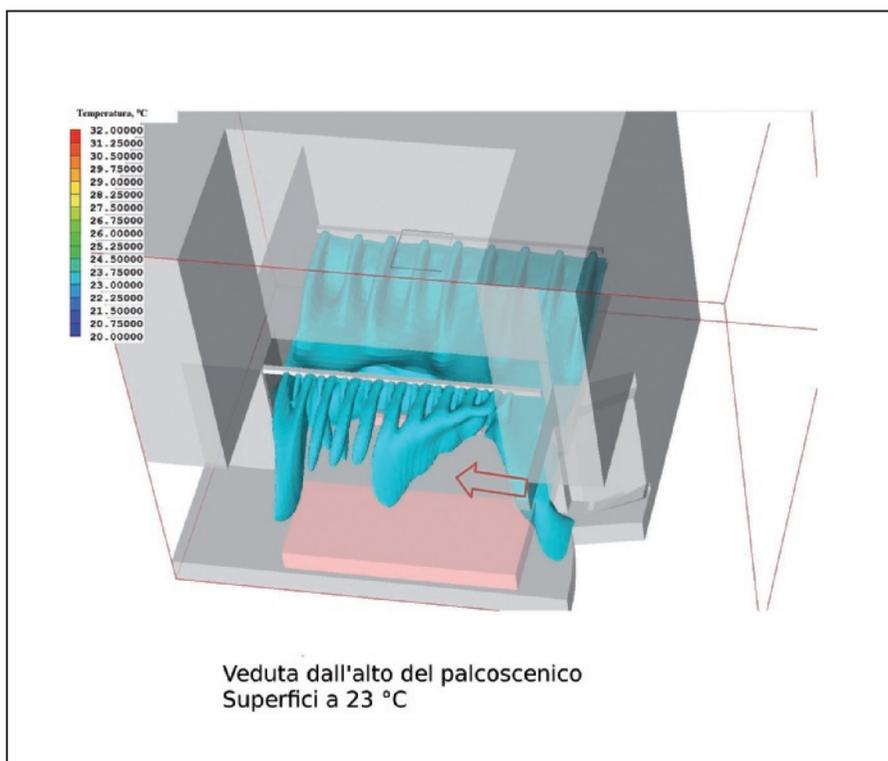
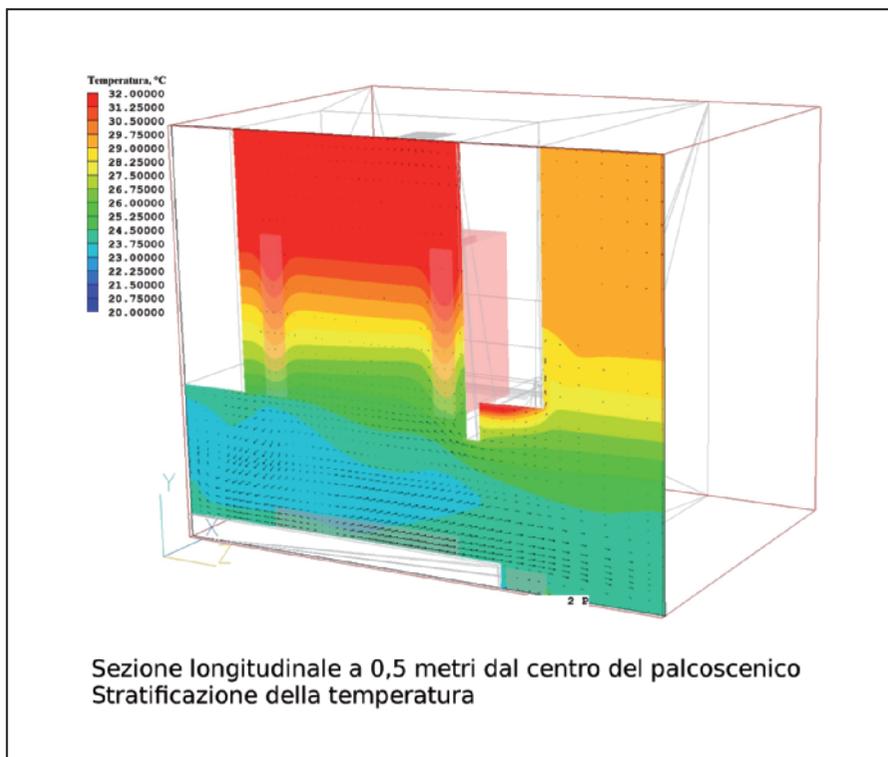
Sono state perciò messe in campo tutte le possibili soluzioni tecniche disponibili sia per annullare la trasmissione delle vibrazioni prodotte dalle parti in movimento delle diverse macchine, mediante l'impiego di giunti antivibranti e asonatori, sia per abbattere il rumore generato dai ventilatori che si propaga attraverso le canalizzazioni aerauliche.

Queste ultime sono state alloggiare, per quanto possibile, all'interno dei cavedi impiantistici, utilizzando dove possibile

condotte circolari a spirale sia per la loro superiore rigidità rispetto a quelle con sezione rettangolare, sia per la loro ridotta produzione di vibrazioni alle basse frequenze.

Praticamente tutte le centrali di trattamento dell'aria e le canalizzazioni di mandata e ripresa sono equipaggiate con attenuatori acustici a setti fonoassorbenti – in alcuni casi disposti in serie – in grado di fornire attenuazioni dell'ordine di 50 dB alla frequenza di 500 Hz.

Tutti gli impianti termomeccanici sono protetti contro gli eventi sismici: le macchine dispongono di smorzatori e, dove necessari, di sistemi antiribaltamento, mentre le tubazioni sono vincolate alle strutture con giunti idonei ad assorbire eventuali movimenti.



La simulazione CFD del comportamento dell'impianto di ventilazione del palcoscenico e della torre scenica ha confermato l'efficacia delle modifiche apportate in sede di progetto costruttivo (Caverion).

ricircolo, per le due u.t.a. destinate all'insieme palcoscenico e torre scenica, la cui portata è stata incrementata (da 20.000 a 30.000 m³/h ciascuna);

- la realizzazione di nuove prese d'aria sul fronte prospiciente il piazzale di carico e scarico;

- l'installazione di una serie di nuovi diffusori per l'immissione dell'aria dai palcoscenici laterali destro e sinistro;

Per una migliore comprensione dell'impatto delle modifiche è stata effettuata una simulazione fluidodinamica computazionale, affidata dalla società tedesca YIT/Caverion e finalizzata a prevedere l'andamento delle temperature e della velocità dell'aria sia nelle zone interessate, sia nella sala. La simulazione CFD ha confermato le previsioni, evidenziando come la nuova soluzione restituisse, nelle condizioni di massimo carico ambiente:

- temperature comprese tra i 23 e 25 °C sul palcoscenico;

- temperature non superiori a 33 °C alla sommità delle torre scenica.

Il palcoscenico è perciò climatizzato da un impianto a tutt'aria esterna che, a valle delle u.t.a., impiega 4 condotte equipaggiate con altrettante unità CAV, di cui:

- 2 per il palcoscenico (normalmente in posizione di apertura);

- 2 per gli spazi scenici laterali (normalmente chiuse e apribili contemporaneamente solo su richiesta del sistema di regolazione).

I diffusori ad ugelli a servizio dell'intero palcoscenico sono tutti montati con angolo di 30° verso il basso e dotati di attuatore modulante, per la regolazione della direzione del getto, e di serranda on/off, per l'eventuale esclusione del flusso in caso di presenza nelle vicinanze di fondali e teli leggeri. L'estrazione dell'aria è affidata a unità ventilanti (30.000 m³/h ciascuna) complete di attenuatori acustici sull'aspirazione e di serrande di intercettazione, installate sulla copertura della torre scenica.

© RIPRODUZIONE RISERVATA