

# La scelta degli impianti in relazione al progetto acustico del Teatro La Fenice di Venezia

Ing. DIEGO DANIELI – *Direzione Lavori Teatro la Fenice – Venezia*

Ing. TIMOTHY DANN – *Ufficio Tecnico Guerrato Spa - Rovigo*

Ing. ALESSANDRO CHIARELLI – *Ufficio Tecnico Guerrato Spa - Rovigo*

## 0. Introduzione

Il presente lavoro vuole mettere in evidenza come le scelte progettuali e costruttive degli impianti tecnologici del Teatro La Fenice si siano dovute costantemente interfacciare con l'aspetto acustico dell'intera opera.

Ancora una volta si vuole dimostrare come un corretto coordinamento tra direzione lavori, progettista acustico ed imprese, sia fondamentale per ottenere gli obiettivi voluti.

I collaudi acustici eseguiti in fase di costruzione ed collaudo degli impianti hanno permesso di ottenere risultati di tutto rilievo, confermati dagli operatori del teatro dopo più di tre anni di funzionamento continuo.

## 1. Premessa al Progetto Acustico

Progettare e ricostruire un Teatro, specie se trattasi della Fenice di Venezia nota un tempo in tutto il mondo per le sue ottime caratteristiche sonore, è il classico esempio dove l'acustica riveste un ruolo fondamentale e autorevole.

Il tecnico acustico, fin nella fase progettuale, ha dovuto rivestire un ruolo di controllore rigido e severo sulla scelta dei materiali.

In particolare le scelte degli impianti tecnologici sono state influenzate in modo determinante dalle specifiche imposte dall'acustico.

Si ricorda come la fase finale dell'opera è iniziata proprio con la assegnazione dei lavori, ad un gruppo di imprese facenti capo alla Sacaim Spa di Venezia, che hanno vinto la gara appalto di tipo integrato.



Fig. 1 .Vista dall'alto del cantiere. Facciata principale del Teatro La Fenice di Venezia

Ciò ha voluto dire che le imprese raggruppate in associazione temporanea hanno avuto anche l'onere di realizzare il progetto esecutivo.

Nella sua funzionalità il progetto esecutivo è stato seguito e coordinato passo dopo passo dall'Ufficio della Direzione dei Lavori del Teatro La Fenice, insediato già in fase di assegnazione della gara e che ha avuto il compito di coordinare e validare l'escutività del progetto definitivo. Progetto definitivo che a quel punto diventava una sorta di specifica tecnica e funzionale e quindi linea guida da far seguire ai progettisti e realizzare successivamente dalle imprese.

L'ufficio della direzione lavori composto, da un team di dodici professionisti, ognuno con il proprio ruolo che coordinati dal Direttore dei Lavori (ing. Gianni Cagnin) hanno da subito svolto un ruolo importante nella scelta delle soluzioni esecutive individuate nel progetto definitivo.

Anche il progetto esecutivo acustico, rientrava nei compiti dell'ATI, che affidandosi alla società Müller-BBM di Monaco, doveva oltre che progettare anche coordinare le varie discipline. Vista l'importanza dell'opera, l'acustico doveva intervenire e vigilare non solo sulle scelte progettuali architettoniche ma anche in quelle strutturali, impiantistiche e di scena.

In fase di approvazione dell'intero progetto esecutivo, la commissione esterna, tra le varie prescrizioni impartita anche la seguente :

*“Da quanto indicato nelle note che precedono, è chiaro lo sforzo progettuale effettuato in sede di sviluppo da progetto definitivo a progetto esecutivo deve trovare adeguata coerenza con lo sviluppo della cantierizzazione relativa.*

*Le componenti diverse che entrano a far parte del progetto esecutivo, vanno attentamente valutate dalla Direzione Lavori, nel momento che si passa alla individuazione delle marche e delle caratteristiche specifiche dei prodotti finiti, fino al loro controllo prestazionale.*

*Una particolare attenzione merita il processo di sviluppo dello studio costruttivo delle opere, sotto l'aspetto acustico.”*

Rimaneva perciò da controllare le prescrizioni acustiche del progetto esecutivo con l'esecutività dell'opera. Con il ruolo che gli competeva, la Direzione dei Lavori, ha imposto che l'acustico dovesse seguire costantemente il cantiere, e che lo stesso *approvasse* tutti i materiali che potessero avere funzione acustica proposti dall'ATI, e non solo, ma che partecipasse pure alle riunioni tecniche qualora servisse il suo contributo, e quindi che tutti gli impianti venissero approvati congiuntamente alla Direzione dei Lavori e dall'acustico stesso.

Il tecnico acustico scelto in fase esecutiva e che ha seguito i lavori della ricostruzione fino alla fase di collaudo e' stato individuato da subito nell'ing. J. Reinhold dello studio tecnico Müller-BBM di Monaco.

## 2. Il Progetto Acustico

Descrivere l'intero progetto acustico esula dall'obiettivo preposto dal seguente lavoro. Ci soffermeremo solo sulla parte impiantistica, con particolare riferimento agli impianti meccanici, di gran lunga i più delicati dal punto di vista del rumore. Non sottovalutando e sottolineando che un costante controllo è stato eseguito anche per gli impianti elettrici e di scena.

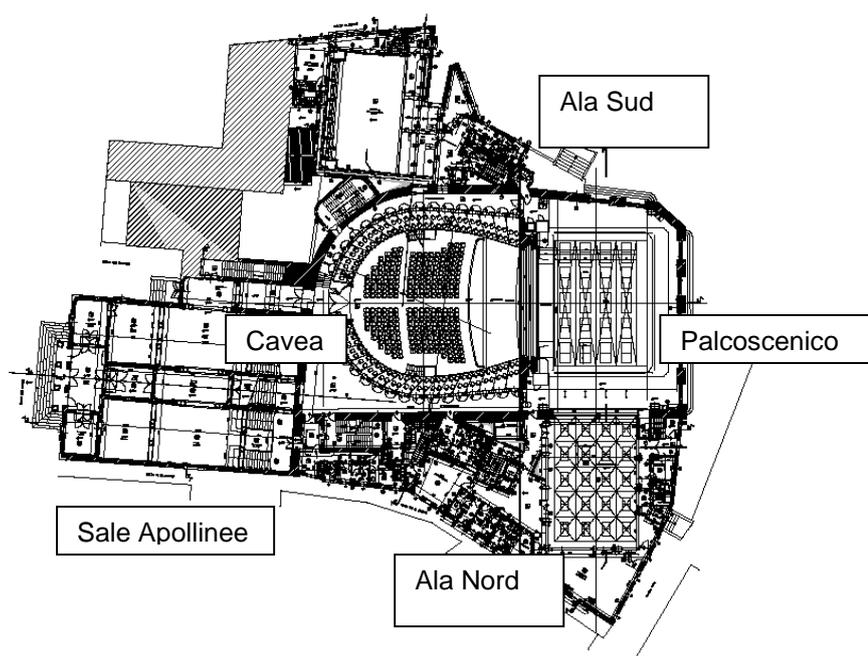


Fig. 2 .Pianta generale del Teatro con l'individuazione delle cinque aree principali.

Di seguito vengono esposti alcuni punti fondamentali che fanno parte del progetto acustico, con particolare riferimento agli impianti meccanici, quali quelli di condizionamento e distribuzione dell'aria e quelli idrico-sanitario. Tutte le soluzioni tecniche proposte a progetto sono poi state sviluppate in fase costruttiva come già anticipato e che verranno esaminate successivamente.

Si riportano le tabelle *I* e *II* relative ai livelli dei rumori di fondo massimi ammissibili da rispettare nelle diverse zone. I livelli di rumore di fondo elencati nella tabella sono livelli *sommati* che risultano dai livelli singoli di tutti gli impianti tecnici come impianti di ventilazione, impianti di servizio oppure installazioni elettriche.

### ***Livelli dei rumori di fondo nei vani***

Tabella I: Livelli di rumore di fondo massimi ammissibili<sup>1)</sup> nei vani

Vano	L <sub>AF</sub> / dB(A)
Sala Teatrale	25
Fossa dell'orchestra	25
Palcoscenico	25
Palcoscenico laterale	30
Sala grande	25
Sala nuova	25
Prove ballo e regia	30
Sala coro grande	30
Sala coro piccola	30
Sala prove maestri	30
Sale prove	30
Sale apollinee	35
Camerini artisti singoli	37
Camerini artisti multipli	40
Uffici singoli	38
Uffici collettivi	40
Foyers	36
Atri, corridoi, vani scala	40
Spogliatoi	45
WC	45
Locali di lavoro manuale	45

<sup>1)</sup> Somma di tutte le fonti di rumore come impianti, in particolare aerazione, illuminazione, impianti sanitari e di raffreddamento ecc.

Tabella II: Livelli di rumore di fondo massimi nei vani tecnici (somma di tutti i livelli di rumore)

Vano	L <sub>AF</sub> /dB(A)
Locale pompe impianto Antincendio	80
Centrale di raffreddamento e delle pompe	80
Apparecchiature di climatizzazione, HVAC	75

Sale macchine, ascensori	75
Diesel corrente di emergenza, incassato	90
Vani trasformatori	<60
Centrale termica	75
Vani tecnici per unità trattamento aria	70

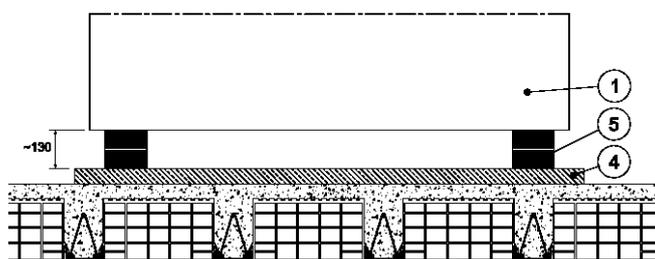
Particolare attenzione è stata data all'isolamento delle macchine dalle vibrazioni meccaniche generate dalle stesse durante il loro funzionamento. In fase progettuale è stato prescritto che a seconda della scelta del sistema di isolamento e della posizione degli apparecchi nell'edificio, i livelli di velocità delle vibrazioni meccaniche si dovevano ridurre alle seguenti grandezze: per un supporto elastico doppio di un ventilatore su di un solaio deve avere un isolamento pari a  $D \geq 45$  dB, mentre ad esempio per un supporto elastico semplice di un ventilatore, su di una soletta deve avere un isolamento di inserimento  $D \geq 25$  dB.

Le centrali di trattamento dell'aria e i ventilatori di estrazione sono posizionate in più zone dell'edificio. E' risultato perciò importante valutare il tipo di isolamento acustico da prevedere in funzione delle zone vicine all'ubicazione delle macchine e del tipo di solaio in cui sono inserite. Si sono perciò individuati in questa, per la determinazione delle misure di isolamento contro le vibrazioni meccaniche, i seguenti luoghi di installazione.

Per le Centrali di trattamento aria installate al piano interrato, direttamente a contatto con il terreno della parte strutturale nell'Ala Nord del Teatro, è stato sufficiente prevedere la posa su degli elementi di isolamento con elementi del tipo a molla. La frequenza naturale imposta per questi elementi a molla è inferiore ai 8 Hz.

Per le Centrali di trattamento e per i ventilatori di estrazione posti in copertura sul tetto sopra gli uffici nella parte strutturale dell'Ala Sud, e sul tetto sopra la Sala Prove Coro, nella parte strutturale dell'Ala Nord e per quelle posate direttamente sotto il palcoscenico laterale nella parte dell' Ala Nord, si è previsto l'appoggio delle stesse su elementi speciali a doppio effetto elastico – (elementi KSD in fig. 3 e fig.7) – che vengono posati sotto il telaio dell'apparecchio.

Per le macchine di trattamento più delicate, quali le CTA posate sopra la Sala Grande su solaio di travi in legno e sopra la Sala Teatrale su un solaio in cemento armato (spessore 30 cm) hanno richiesto un isolamento massimo contro le vibrazioni meccaniche. Questa esecuzione ha imposto supporti con elementi a doppio effetto elastico come detto sopra riportati nelle figure 3.



- 1 = ventilatore
- 2 = massa intermedia di calcestruzzo
- 3 = isolamento contro i rumori da calpestio in fibra minerale
- 4 = soletta di calcestruzzo
- 5 = elementi KSD
- 6 = folio polietilene



Fig. 3 .Particolare del basamento delle CTA e giunti a doppio effetto elastico tipo KSD.

Per tutte le CTA e per la distribuzione aeraulica dell'impianto si è previsto che il motore elettrico del ventilatore e la coclea dello stesso dovessero essere posati su un telaio comune e che i collegamenti con i canali di mandata e ripresa dell'aria siano effettuati con giunti flessibili, mentre i canali venissero fissati alla struttura in modo elastico con supporto del tipo gomma-metallo e che i passaggi dei solai o muri fossero chiusi in strato di espanso di polietilene. Si è imposto anche l'obbligo di installare dei silenziatori ogni qual volta lo stesso canale dell'aria alimentasse più locali, ovvero ogni qualvolta si rendesse necessario ai fini acustici.

In fase di progetto esecutivo delle linee di distribuzione dell'aria e dei suoi terminali sono state definite alcune richieste fondamentali, da rispettare.

Si dovevano prevedere, sui lati di aspirazione e mandata dell'aria dalle macchine dei silenziatori, la cui lunghezza fosse determinata secondo la velocità dell'aria della rete. La velocità dell'aria all'interno dei canali principali è sempre stata inferiore di 5 m/s (quasi sempre si è usato 3 m/s con un massimo di 4 m/s). Nella zona plenum interno alla cassa armonica sotto il pavimento della Sala Teatrale l'aria è immessa con

una velocità di circa 1,0 m/s. La velocità di uscita dell'aria nel piede della poltrona è di circa 0,2 m/s. Questo ha imposto una scelta accurata del diffusore come descritto più avanti. Per tutti i regolatori di flusso e per le serrande di protezione antincendio è stato necessario, installare posteriormente a questi elementi dei silenziatori.

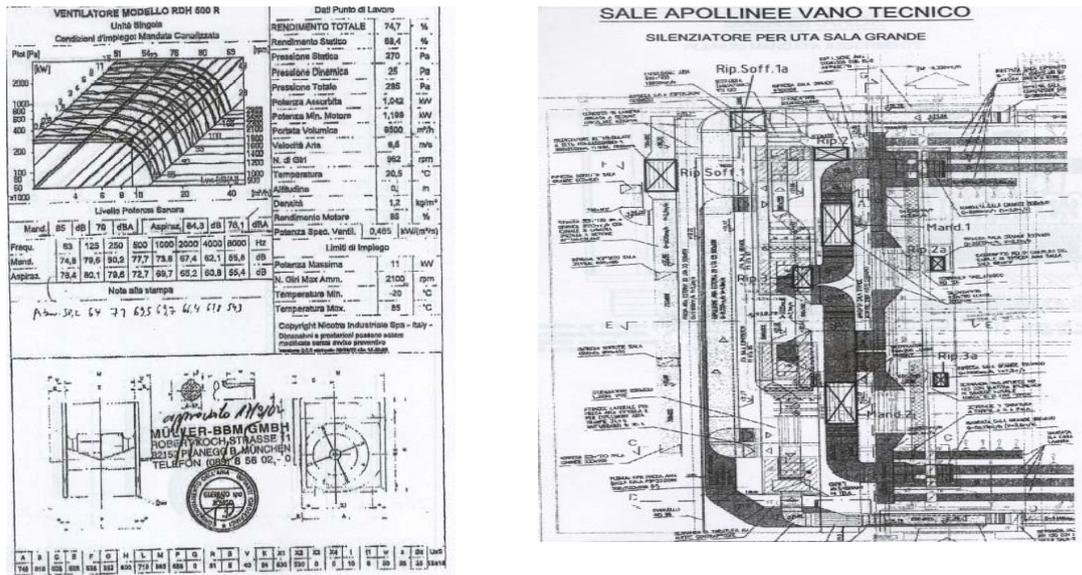


Fig. 4 .Approvazione della scheda tecnica di un ventilatore da parte dell'acustico e note sull'inserimento dei silenziatori per le CTA della Sala Grande.

Per i gruppi frigoriferi e la loro scelta, si è fissata la sola tipologia di macchina e le sue caratteristiche più peculiari, demandando la scelta del costruttore in fase costruttiva, come verrà discusso più avanti.

La scelta dei gruppi di pompaggio ha determinato già in fase progettuale precise e determinate specifiche. Le pompe sono installate nella centrale idrica nella parte interrata dell'Ala Nord ed in due sottocentrali del tetto nella copertura della stessa Ala Nord.

Queste pompe, relativamente di grandi dimensioni, sono state installate su un supporto semplice elastico di alta qualità con separazione dalle vibrazione meccaniche. In questo contesto l'installazione prevista nella prima sottocentrale tecnica, posta nell'interrato, con il collegamento diretto al suolo non comportava dei grossi problemi, mentre invece la situazione delle pompe situate nella zona del tetto risulta essere molto più critica. Un'altra aggravante è risultata dal fatto che in questo caso non è stato

possibile, per motivi statici, prevedere un solaio di cemento armato, ma solamente un solaio misto in laterizi. Le soluzioni adottate con l'impiego di un basamento inerziale sono riportate in fig. 5.

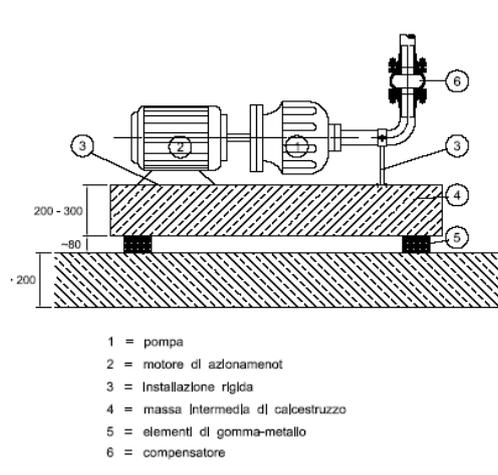


Fig. 5 .Schema del basamento per le pompe

Un ultimo cenno, prima di passare in rassegna alcune delle soluzioni adottate, merita dare alle prescrizioni date per la parte dell'impianto sanitario.

In particolare si è prescritto che le pareti sulle quali montare gli apparecchi sanitari dovevano presentare una massa minima per unità di superficie di  $m' \geq 220 \text{ kg/m}^2$ .

Per il sistema delle acque di scarico l'acustico ha previsto l'utilizzo esclusivo di tubazioni in ghisa. Sebbene tale soluzione sia da un punto di vista della resa acustica, la più indicata, gli spazi assai stretti e risicati a disposizione degli impianti e la necessità di poter adattare gli impianti alle esigenze architettoniche hanno portato in fase realizzativi, in accordo con il tecnico acustico, ad adottare tubazioni in polietilene ad alta densità opportunamente silenziate come descritto più avanti.

Il fissaggio di tutte le tubazioni sulle pareti avviene inserendo nelle staffe per tubi spessori opportuni di neoprene per evitare il propagarsi del rumore per via solida. Tale soluzione è stata ovviamente estesa a tutte le tubazioni.

Tutte le rubinetterie e gli apparecchi dell'impianto idrico devono rispondere a quanto prescritto per materiali del Gruppo 1 (particolarmente silenziosi) secondo quanto

stabilito dalle normative in vigore con particolare riferimento alla norma DIN 52218. La pressione dell'impianto si è limitata a non superare i 3 bar.

### **3. Le Soluzioni costruttive adottate per gli Impianti Tecnologici durante il cantiere**

Come detto in precedenza sono state integrate nel complesso teatrale soluzioni impiantistiche, adottando anche le più sicure ed efficienti protezioni antincendio, senza che le eccellenti caratteristiche acustiche presenti prima dell'incendio nel teatro non siano state compromesse.

Si sono anche migliorati i livelli di rumore di fondo massimi previsti nei vani tecnici, rispetto ai valori prescritti nel progetto acustico come descritto in precedenza, in particolare, il rumore è inferiore a 60 dB(A) nei vani tecnici delle unità trattamento dell'aria.

#### **3.1 La Centrale Frigorifera**

##### ***La Centrale frigorifera in copertura dell'Ala Nord***

In zona copertura dell'Ala Nord è stata prevista l'installazione della maggior parte degli impianti tecnologici, dalla centrale termica alle sottocentrali di pompaggio fino alle unità di trattamento aria per finire con il posizionamento dei refrigeratori d'acqua.

In questo contesto perciò si doveva prestare particolare attenzione ai due gruppi frigoriferi, posti all'esterno sopra la centrale termica. I due chiller di potenzialità 840 kW<sub>f</sub> entrambi condensati ad aria sono stati posizionati a quota +21.00 metri dal piano campagna, nella posizione individuata già in fase progettuale, trovandosi però ad una distanza molto ridotta rispetto alle abitazioni confinanti a nord del teatro. Un aspetto questo tipico del tessuto urbano della città di Venezia. La scelta si è orientata da subito in gruppi frigoriferi ottimizzati acusticamente che irradiassero una potenza acustica sonora ridotta.

Sono stati effettuati calcoli e simulazioni, sulla base del progetto costruttivo, relativi al controllo delle immissioni verso gli edifici residenziali situati nell'immediata vicinanza, per determinare le caratteristiche acustiche dei gruppi, e anche l'eventuale inserimento di una barriera acustica per schermare i gruppi stessi.

### ***Parametri richiesti***

Le abitazioni adiacenti al Teatro “La Fenice” sono state classificate secondo le “Classi di destinazione d’uso del territorio” nella categoria della “aree particolarmente protette” secondo quanto previsto dalla Legge Quadro.

Ne consegue che il livello delle immissioni sonore che si è reso necessario rispettare durante le ore notturne davanti alle finestre dell’edificio residenziale più vicino è di:

$$Leq = 40 \text{ dB(A)}$$

E durante il periodo diurno un livello di immissione di:

$$Leq = 50 \text{ dB(A)}$$

Nella situazione particolare di Venezia risulta, specialmente durante le ore notturne, un abbassamento del livello del rumore di fondo a  $Leq < 35 \text{ dB(A)}$  – si arriva a misurare anche  $20 \text{ dB(A)}$  in piena notte - ha fatto sì che il rumore aggiuntivo prodotto dagli impianti tecnologici situati in copertura dell’Ala Nord, era, anche rispettando le prescrizioni legislative in merito, chiaramente percepibile dal vicinato. Al fine di evitare problemi futuri, si doveva – per quanto possibile – auspicare di arrivare a valori inferiori a quelli limite prescritti di legge.

### ***Situazione delle costruzioni nel vicinato***

Le distanze degli edifici adiacenti e le loro altezze sono state determinate in base alla documentazione progettuale, a riprese fotografiche aeree e a diverse visite in cantiere. I dettagli geometrici sono stati inputati tridimensionalmente nel programma di calcolo da parte dell’acustico. I punti di immissione scelti (da PI 1 a PI 4), situati davanti alle facciate degli edifici, si trovano ad una quota di  $+12.5 \text{ m}$  e  $+15.5 \text{ m}$  dal piano di campagna. I gruppi frigoriferi stessi raggiungono con lo spigolo superiore una quota di  $+23.5 \text{ metri}$ .

Le distanze orizzontali tra lo spigolo anteriore dei gruppi e la facciata delle abitazioni citate risultano essere nel caso più sfavorevole di  $7 \text{ m}$  e nei casi più favorevoli, nella zona del cortile interno, di circa  $19 \text{ m}$ . I calcoli sono stati eseguiti in considerazione di queste geometrie degli edifici, degli elementi schermanti, formati da parapetti bassi di calcestruzzo e dell’effetto schermante risultante della posizione più

bassa degli edifici adiacenti, nonché degli effetti delle riflessioni supplementari alle facciate degli edifici, per esempio nella zona del vano palcoscenico.

### ***Esecuzione di calcoli***

Sono stati effettuati dei calcoli e simulazioni delle immissioni utilizzando il programma di calcolo CADNA.

In stretta collaborazione con gli impiantisti e acustici dell'ATI e la Direzione dei Lavori sono state verificate e valutate mediante l'analisi di calcoli altre possibili soluzioni. Si sono eseguite verifiche per poter variare le altezze e lunghezze delle pareti schermanti, nonché prevedere diversi tipi di macchina.

Alla fine si è deciso per una barriera acustica in versione prolungata e piegata su tre lati dei gruppi, con una altezza pari a quella dei gruppi frigoriferi, cioè di +23.50 m totale dal piano di campagna. La potenza sonora ammissibile massima dei gruppi frigoriferi è stata ridotta così ad un livello che permettesse il rispetto, in tutti i luoghi di immissione, ad un valore inferiore ai 40 dB(A).

### ***Coordinamento tra ATI, Consulente acustico e la Direzione Lavori***

Durante le numerose riunioni di coordinamento sono state stabilite le seguenti caratteristiche costruttive:

- I gruppi frigoriferi dovevano essere costruiti in forma modulare per facilitarne l'installazione.
- L'altezza massima ammissibile della parete schermante doveva essere non più di +23.50 m, in base al progetto approvato della Sovrintendenza di Venezia.
- Anche l'altezza massima dei gruppi, comprensiva di basamenti, non doveva superare la quota di +23.50 m
- Il livello ammissibile delle immissioni nel vicinato è quello stabilito dalle leggi vigenti in merito e precisamente fissato ad un valore massimo di 40 dB(A).

Nell'ambito delle suddette riunioni la stessa ATI ipotizzava la possibilità di poter avere un gruppo frigorifero che avrebbe garantito un funzionamento più silenzioso di almeno 10 dB, rispetto ai primi calcoli eseguiti.

Tale riduzione– ritenuta difficilmente realizzabile anche da parte della Müller-BBM – doveva essere dimostrata mediante delle misurazioni fonometriche su un prototipo di un gruppo frigorifero.

### ***Verifica della potenza sonora dei gruppi frigoriferi***

I dati acustici che presentarono i diversi produttori sono a volte stati fonte di dubbi circa le indicazioni dei livelli sonori dichiarati.

Per questo motivo sono stati effettuati rilievi acustici su una macchina analoga a quella proposta per il Teatro La Fenice. Il gruppo frigo era già installata a Milano nel centro storico nella zona del Duomo, e presentava prestazioni acustiche paragonabile e similari al modello scelto. Lo scopo era di verificare anticipatamente il livello di potenza sonora del gruppo frigorifero. Queste misurazioni sono state effettuate da parte della Müller-BBM in collaborazione con il costruttore l'impresa impiantistica dell'ATI e la Direzione dei Lavori.

Solamente a questo punto la Direzione dei Lavori, in accordo con quanto dichiarato dall'acustico ha approvato le macchine e si è proceduto all'ordine dei gruppi frigoriferi.

Dai calcoli eseguiti doveva risultare che i due gruppi frigoriferi dovevano avere un livello di potenza sonora massimo ammissibile di  $L_{wa} \leq 84$  dB(A), tenendo conto durante il periodo notturno di una riduzione del 50% della potenza frigorifera, valore plausibile e confermato durante il funzionamento nell'estate 2004. Il valore della potenza sonora poteva salire ad  $L_{wa} \leq 88$  dB(A) durante il periodo diurno.

### ***Gruppi frigoriferi speciali super-silenziati***

Sono stati forniti dalla Climaveneta due gruppi frigoriferi condensati ad aria, aventi una capacità frigorifera di 840 kW<sub>f</sub> ciascuno, con recupero parziale tramite dessuriscaldatori per una potenza termica massima di 270 kW.

Ogni chiller e' composto da tre moduli costituiti da un condensatore raffreddato ad aria con sei ventilatori assiali a ridotto numero di giri e due compressori a vite incapsulati. Il condensatore, a forma di "W", e' uno scambiatore di calore in tubi di rame ed alette di alluminio. Il fluido frigorifero e' l' R407c.



Fig. 6 .I gruppi frigoriferi del Teatro la Fenice di Venezia

I gruppi frigoriferi sono stati costruiti in versione speciale, per rispettare i valori acustici prescritti, utilizzando staffaggi antivibranti per isolare le tubazioni freon dal telaio strutturale della macchina. Le batterie di condensazione sono state maggiorate, e i ventilatori assiali sono a basso numero di giri e comandati da inverter in base al carico richiesto.

La costruzione modulare dei gruppi frigoriferi ha permesso il trasporto dei moduli in cantiere a mezzo barca per via acqua. L'assemblaggio dei moduli è stato effettuato in copertura dell'Ala Nord, sul posto di installazione tra agosto e settembre del 2003.

I gruppi frigoriferi appoggiano su supporti a doppio effetto elastico della ditta KSD. ( cfr Fig.7) Analoghi supporti, come già detto, sono stati usati anche per le centrali di trattamento dell'aria.

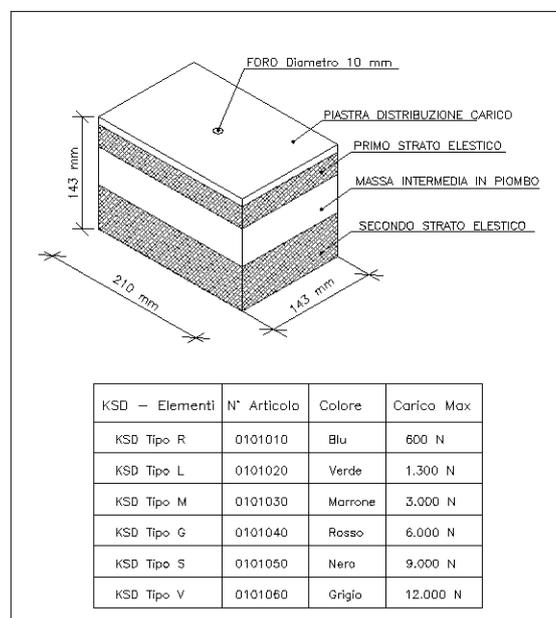


Fig. 7 .Giunti a doppio effetto elastico KSD

### ***Caratteristiche della barriera acustica***

La barriera acustica è stata realizzata secondo moduli standard di larghezza 1500 mm, facilmente componibili e con dimensioni ottimizzate, in modo da poter essere facilmente movimentati. Sono stati utilizzati anche pannelli jolly per ottenere le dimensioni geometriche richieste per la porta d'ingresso e per seguire le spigolature dei gruppi frigo.

La parete schermante che doveva soddisfare tre requisiti fondamentali, ovvero resistere al vento (la parete principale è orientata verso nord a quota +23,80 s.l.m.), formare una barriera fonoisolante a tenuta e presentare verso le macchine un elevato assorbimento acustico, è stata realizzata come di seguito descritto.

La composizione principale del pannello (partendo dalla sorgente), presenta uno spessore totale di 78mm, la lamiera di contenimento, di spessore 10/10 di mm, ha una quota forata libera superiore al 25%, con diametro dei fori  $\geq 4$ mm. Un film protettivo contro l'acqua la riveste completamente. All'interno si sono inseriti due pannelli fonoassorbenti a densità diversificata di spessore adeguato con l'interposizione di PVC caricato come strato smorzante, con un coefficiente di assorbimento acustico pari a 0,7 per le frequenze da 250 Hz a 500 Hz e di 0,9 per le frequenze  $\geq 500$  Hz. A

completamento una lamiera di acciaio di spessore 12/10 di mm, verniciata sul lato esterno, ed avente una massa per unità di superficie di 10 kg/m<sup>2</sup>. ( cfr fig. 8)



Fig. 8 .Pianta della barriera acustica per i gruppi frigoriferi

### 3.2 I basamenti delle pompe della centrale frigorifera

Le pompe installate all'interno dei vani tecnici della centrale frigorifera in copertura dell'Ala Nord sono state fissate in modo rigido su una massa intermedia di calcestruzzo. Questo anche perché le coppie all'avviamento delle pompe potevano essere alte. I basamenti in calcestruzzo appoggiano su elementi di supporto in gomma/metallo, aventi una frequenza  $\leq 6\text{Hz}$ . Il peso della massa intermedia di calcestruzzo è in linea di massima due volte il peso delle pompe stesse. Lo spessore della piastre di calcestruzzo hanno uno spessore minimo di 15 cm. (cfr fig.9)

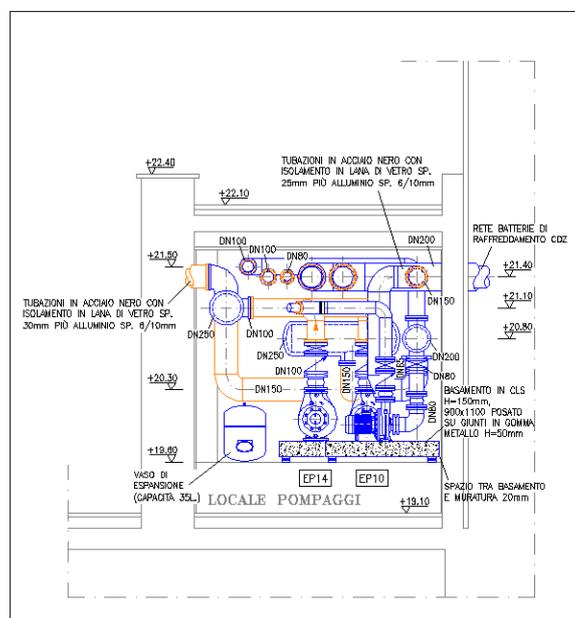


Fig. 9 . Schema di montaggio elettropompe centrale frigorifera con basamento

Gli elementi in gomma/metallo sono stati utilizzati anche in centrale termica per l'appoggio dei collettori e delle tubazioni di diametro rilevante. Gli elementi del tipo gomma/metallo sotto carico sono stati dimensionati per una compressione di circa 6 mm.



Fig. 10 . elettropompe centrale frigorifera con basamento

Tutte le elettropompe installate sono dotate di motori elettrici a 4 poli, con conseguente velocità di rotazione di 1400 giri/min. Fanno eccezione le elettropompe antincendio e le pompe di pressurizzazione dell'impianto idrico sanitario. Quest'ultime però sono state installate in zone non critiche dal punto di vista acustico, rispettivamente nel piano interrato dell'Ala sud, e nel piano interrato dell'Ala Nord.

### 3.3 Centrale Termica

La centrale termica è dotata di 3 caldaie a gas in acciaio, a tre giri di fumo, con bruciatori ad aria soffiata del tipo modulanti. E' previsto il funzionamento contemporaneamente di due caldaie (un dato confermato durante il funzionamento nell'inverno 2004/2005), con la terza caldaia a rotazione sempre in stand-by. I bruciatori sono stati dotati di una trappola insonorizzante costruita su misura, visto gli spazi esigui in centrale termica. (cfr fig. 11)



Fig. 11 . Particolare della centrale termica

### 3.4 Gli Impianti di Condizionamento

#### *Distribuzione dell'aria dalla platea sotto poltrona*

La platea è dotata di un sistema di distribuzione dell'aria di mandata a "microclima" del tipo a dislocamento, con l'immissione dell'aria in prossimità degli occupanti. Il volume generato, con funzione di cassa armonica, sotto il pavimento della platea viene usato tutto come plenum per l'aria di mandata, evitando così l'installazione di canali in lamiera zincata, e prevedendo l'immissione dell'aria nella sala attraverso diffusori a pavimento sotto poltrona.

L'intero pavimento della platea ha una funzione acustica importante, ed è stato eseguito con una finitura di pavimento in legno di tipo oscillante, sostanzialmente formato da due strati di legno posati in modo incrociato uno sopra l'altro. Questi due strati appoggiano su dei supporti murali. E' stato fondamentale mantenere la capacità di vibrazione della struttura del pavimento inalterata.

Nella platea vengono immessi complessivamente 12.000 m<sup>3</sup>/h di aria trattata provenienti da una unica unità di trattamento, ubicata al piano interrato dell'ala Nord. L'immissione dell'aria avviene, mediante sei condotti posti (come da schemi grafici di seguito riportati in fig.12) nel plenum sottoplatea.

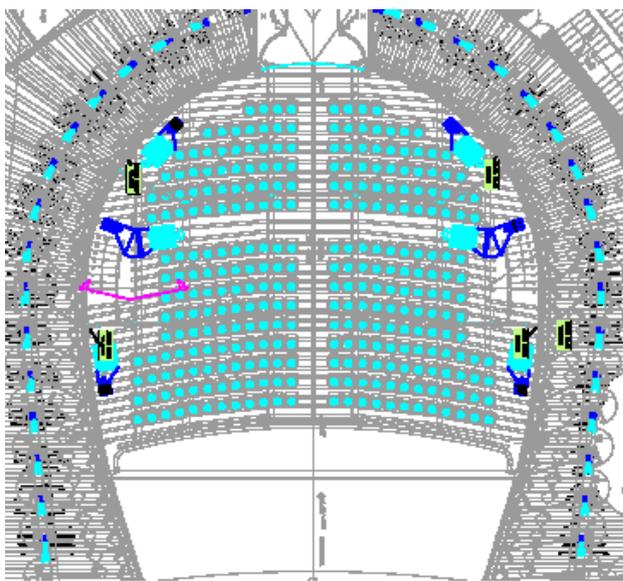


fig.12 – Particolare della distribuzione dell'aria in Platea del Teatro.

Il plenum è delimitato dal solaio di separazione della cavea dai camerini, dal pavimento in legno della platea e dalla parete perimetrale della platea. L'aria viene poi immessa in ambiente mediante 300 diffusori a pavimento, installati a filo pavimento, ubicati sotto alle poltrone, per una portata cadauno di 40 m<sup>3</sup>/h.



Figura 13 - diffusore a pavimento del tipo FBA tipo Trox.

Ciascun diffusore, dimensionato per la portata di 40 m<sup>3</sup>/h è caratterizzato da una velocità di attraversamento di 1,98 m/s, e una perdita di carico < 6 Pa ed una pressione sonora di circa 11 dB(A). La ripresa dell'aria, assieme a quella immessa nei Palchetti e Loggione, avviene dal foro del lampadario della cavea, che risulta in posizione centrale, favorendo così una immissione pressoché uniforme dai diffusori.

Durante la fase costruttiva si è deciso in accordo con la DL e il tecnico acustico di eliminare gli elementi di separazione del plenum, pur mantenendo una suddivisione dei canali di mandata in sei zone distinte, ognuno però dotato di silenziatore secondario. In questo modo non si sono creati collegamenti rigidi con il pavimento, o accoppiamenti alle travi portanti in legno.

La soluzione di progetto che comportava sei zone a differente condizione di distribuzione aeraulica, è stata sostituita in corso d'opera con la soluzione descritta e le condizioni di distribuzione dell'aria risultano uniformi in tutto il plenum, ottenendo una velocità nel plenum pari a 0,0142 m/s, e distribuita uniformemente nell'intera zona.

E' risultato quindi necessario, per la delicata situazione aeraulica e soprattutto acustica, adottare tutti gli accorgimenti possibili per avere una condizione di pressione nel plenum il più uniforme possibile, ed evitare così che alcuni diffusori risultassero più favoriti di altri, con il rischio di avere velocità di uscita dagli stessi troppo elevate, creando una sensazione di *disagio* per chi è seduto nelle poltroncine sopra la bocchetta,

non solo per la velocità del flusso d'aria nella zona occupata, ma anche per la rumorosità del diffusore (con 140 m<sup>3</sup>/h di portata, il diffusore genera una pressione sonora di 36 dB(A)).

Inoltre dal punto di vista acustico, la presenza dei muretti che dividevano il plenum, potevano creare una condizione sfavorevole per la riflessione e la rifrazione delle onde sonore generate dall'aria in uscita dai canali di mandata, rispetto alla soluzione di unico plenum di dimensioni maggiori.

Durante la fase dei collaudi è stata verificata la corretta distribuzione dell'aria.

### ***Insonorizzazione delle CTA***

Oltre a quanto previsto nel progetto acustico esecutivo, sono stati previsti due tipi diversi di pannelli insonorizzanti delle CTA. La struttura del pannello è stata concordata seguendo le indicazioni fornite dalla Müller-BBM.

Il pannello sandwich di tipo standard è stato utilizzato nelle zone acusticamente meno critiche, come nelle centrali di trattamento, disposte al piano interrato dell'Ala Nord. Secondo la Norma EN ISO 3744 lo smorzamento di inserimento spettrale richiesto, è risultato quello riportato nella seguente tabella:

<b>Frequenza f / Hz</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>Smorzamento di inserimento D<sub>e</sub> in dB</b>	7	10	18	23	24	21	28

Questo tipo di pannello standard è realizzato con pannelli di fibra minerale, aventi una massa specifica di 90 kg/m<sup>3</sup>. E' stato scartato l'utilizzo di pannelli in espanso rigido di poliuretano, ritenuto non idoneo dal punto di vista acustico.

Nelle zone più critiche, come nella centrale tecnica sopra la Cavea e quella sopra la Sala Grande delle Sale Apollinee, nonché per i gruppi ventilanti posizionati esternamente in copertura, è stato previsto un pannello sandwich di qualità acustica maggiore.

Secondo la Norma EN ISO 3744 lo smorzamento di inserimento spettrale con specifico certificato di prova, era di:

<b>Frequenza f / Hz</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>Smorzamento di inserimento <math>D_e</math> in dB</b>	15	17	26	31	38	42	43

La composizione del pannello sandwich di tipo speciale è stata realizzata con una lamiera zincata forata internamente di spessore  $\geq 1$  mm, con interposto uno spessore di 60 mm di isolamento in fibra minerale per l'attenuazione acustica avente un peso specifico della lana minerale di circa  $100 \text{ kg/m}^3$  ed una lamiera esterna di acciaio zincato rivestito con vernice plastificante di spessore  $\geq 1$  mm.

#### ***Supporto dei motori e ventilatori***

Il telaio di base comune, situato all'interno della macchina, sul quale sono fissati il motore ed il ventilatore, ha un supporto di tipo elastico. La frequenza naturale del suddetto supporto dipende dal numero minimo dei giri del motore e del ventilatore. La frequenza è stata calcolata, di principio, inferiore di due ottave rispetto alla frequenza di eccitazione più bassa. Essendo il numero dei giri più basso a 1200 giri/min, corrispondente ad una frequenza dei giri di 20 Hz, è risultato per questo supporto una frequenza di coordinamento di  $f \leq 5$  Hz.

Nelle zone soggette alle richieste di maggiore isolamento contro le trasmissioni aeree del suono e quelle per via solida, come per le centrali tecniche sopra la Cavea e quelle sopra la Sala Grande nell'area delle Sale Apollinee, si è utilizzato molle di acciaio che dispongono di una frequenza naturale variabile da 1 a 2 Hz. Nelle restanti zone è stata soddisfatta la richiesta che prevede una frequenza di coordinamento inferiore di 2 ottave rispetto alla frequenza di eccitazione più bassa. In caso di apparecchi regolabili mediante inverter si è sempre tenuto conto del numero dei giri più basso.

## Scelte dei silenziatori

Oltre a quanto già richiamato in precedenza, sono stati impiegati dei silenziatori secondari, come nelle sale prove, per evitare il fenomeno di “cross talk”, cioè, avere una trasmissione di suoni tra locali adiacenti attraverso i canali di distribuzione dell’aria.

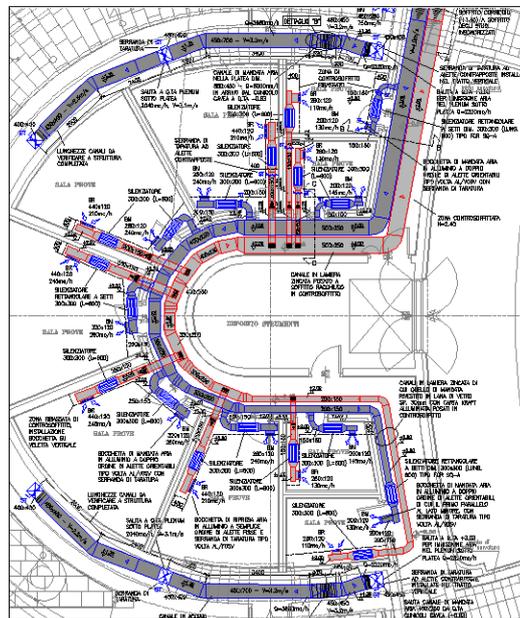


Figura 14 - Inserimento silenziatori nei canali d’aria delle sale prove

## 3.5 Gli Impianti Idricosanitari e Scarichi

### Installazione apparecchi sanitari

La tipologia di supporto ha previsto un sistema autoportante con fissaggio a pavimento per i WC, fissati esclusivamente sul solaio al grezzo. Si è previsto di utilizzare delle strutture portanti per sanitari di primaria marca. Il fissaggio dei WC è avvenuto mediante la interposizione ulteriore di un pannello fonoisolante speciale tra il WC e la parete. L’avvitatura dello stesso è stata realizzata utilizzando dei manicotti elastici in neoprene, in modo da ottenere una separazione totale acustica dei WC. Anche gli orinatoi e i lavandini sono stati fissati con una separazione elastica analoga.

Adottando queste misure aggiuntive sopra descritte, accordate con il tecnico acustico, è stato possibile, ottenere una riduzione del rumore che si propaga per via solida nella struttura della parete fino ad un valore minimo di 5 dB. Gli interventi sono stati confermati in fase di collaudo e utilizzo del Teatro, e quindi possono ritenersi utili a controllare il rumore trasmesso per via solida.

### ***Isolamento acustico delle tubazioni dell'acqua di scarico***

Al posto delle tubazioni in ghisa, previste a progetto esecutivo acustico, in accordo con la Direzione dei Lavori si è utilizzato tubazione in polietilene ad alta densità del tipo silenziato. Questo, oltre a favorire le lavorazioni, ha reso più veloce l'installazione dell'intera rete di scarico.

Si è previsto come prima soluzione di installare tubazioni in PEAD (polietilene ad alta densità) per tutti i diametri di scarico e ventilazione (De 40, 50, 75, 110 mm), tranne per le colonne di scarico sotto traccia.

Come seconda soluzione, si è previsto di installare tubazioni in PEAD (polietilene ad alta densità) del tipo silenziato per le colonne di scarico sotto traccia a parete, aventi diametro De 110 mm, avendo cura di usare lo stesso materiale anche per le braghe e le curve a raggio largo in fondo alla colonna. Non è stato previsto l'uso di PEAD silenziato per le colonne di ventilazione posate sotto traccia, in quanto non scorre l'acqua all'interno del tubo.

E da ultimo si è utilizzato del materiale di isolamento acustico applicato all'esterno delle tubazioni di scarico del tipo a celle chiuse con spessore di 6 mm per tutte le tubazioni di scarico sotto traccia, sia a parete sia a pavimento; ed uno speciale con interposta lamina di piombo per tutte le tubazioni di scarico che corrono in vista, all'interno dei cavedi, nelle intercapedini e nei controsoffitti, con la sola esclusione delle tubazioni in vista correnti nei vani tecnici. Per quest'ultimi non si è prevista nessuna copertura isolante.

### 3.6 Sistemi di Staffaggio

Sono state studiate, in coordinamento con il consulente acustico, appositamente per “La Fenice” alcune tipologie di staffaggio delle tubazioni di distribuzione fluidi tecnologici. In particolare, nel vano tecnico della Cavea le tubazioni appoggiano sulla struttura metallica della copertura. Quindi, per evitare di trasmettere il rumore prodotto dal flusso dell’acqua all’interno delle tubazioni, le stesse sono state posate evitando il contatto solidale tra struttura e tubo, questo tramite l’inserimento di neoprene avente spessore 5 mm. ( cfr fig. 15)

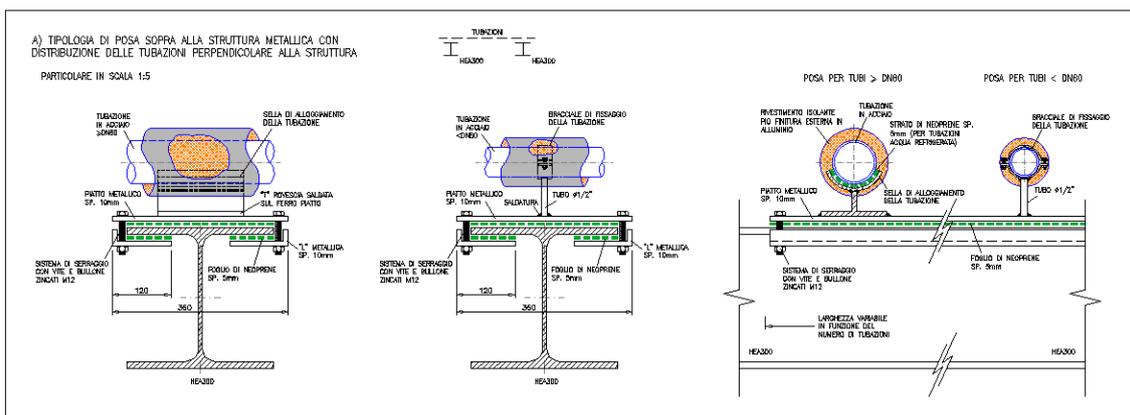


Figura 15 - Sistema di staffaggio delle tubazioni nel vano tecnico sopra la Cavea

E’ altresì interessante come lo schema sopra riportato, sia stato validato con prescrizione dal consulente acustico, il quale si raccomandava che la distanza tra la vite di fissaggio e la putrella di supporto HEA, debba essere superiore di almeno mezzo centimetro (cfr fig. 16).

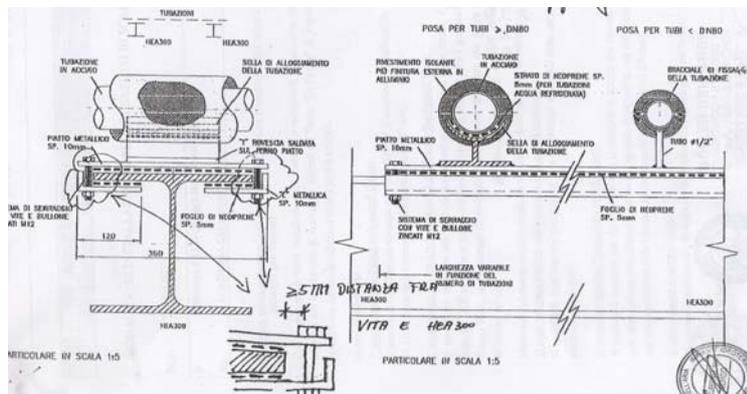


Figura 16 - Sistema di staffaggio delle tubazioni con note dell'acustico

#### 4.0 Collaudi

Come ultima parte, della relazione, passiamo in rassegna alcune delle prove e collaudi acustici realizzati dai tecnici delle Imprese, alla presenza della Direzione dei Lavori.

##### 4.1 Misurazioni del livello di disturbo nella sala Teatrale

Nella notte del 30.11.2003 e 01.12.2003, ossia pochi giorni prima dell'inaugurazione, sono state effettuate misurazioni del livello di rumore di fondo con gli impianti di condizionamento funzionante nella sala principale. Il livello di fondo massimo < 25 dB(A) (cfr Tab.I) è stato rispettato in platea ed anche nella maggior parte dei palchetti. In alcuni palchetti dove sono stati registrati flussi d'aria troppo forti si è verificato un livello di disturbo tra i 25 e 30 dB(A). In questi casi, dopo il bilanciamento dell'impianto, come descritto in un altro precedente lavoro, è stato possibile portare il livello del rumore di fondo al valore richiesto.

Questo è il risultato che testimonia lo sforzo fatto da tutti i tecnici, che hanno lavorato per ottenere e realizzare l'obiettivo che ci si era prefissati.

#### **4.2 Rilievi fonometrici dell'impatto acustico in ambiente esterno**

Particolare attenzione è stata data anche all'impatto acustico verso l'esterno degli impianti sopra descritti.

Le misure fonometriche sono state eseguite nei punti di propagazione sonora preferenziale individuata tra la sorgente ed il ricevente. (Consulenza e misure eseguite con la società Protecno)

##### ***Sorgente a) Centrale termica***

L'abitazione potenzialmente più disturbata è collocata ad una distanza di 16 m circa dalla porta della centrale, si veda la seguente immagine riportata nella fig.17.

La porta a doppia anta della Centrale Termica è una griglia aperta di aspirazione, in modo da garantire l'immissione di aria per i bruciatori a metano delle caldaie in rispetto a quanto previsto dalle disposizioni dei Vigili del Fuoco.

Per valutare le immissioni sonore presso l'abitazione indicata nella seguente foto, sono stati eseguiti i rilievi fonometrici sotto riportati:



Figura 17 - Foto 1: Vista dell'abitazione più vicina alla Centrale Termica

N°.	Condizione di rilevazione	Ora Inizio	Dur. (min.)	L <sub>eq</sub> dB(A)
1	Ambientale all'interno della Centrale Termica n° 2 caldaie accese al massimo	09:42:26	1	74,0
2	Ambientale a 1 m dalla Centrale Termica n° 2 caldaie accese al massimo	09:43:25	1	66,5

Tabella a): Riassunto delle misure eseguite in centrale termica

Come evidenziato nello spettro di rumore riportato nella seguente Figura 18, non sono state individuate componenti tonali.

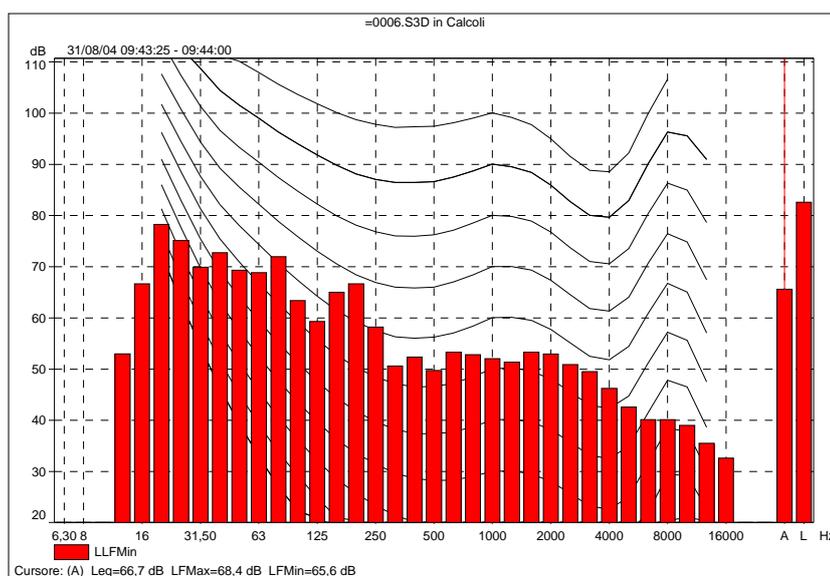


Figura 18 - Spettro del L<sub>min</sub> registrato a 1 m dalla Centrale Termica

### Sorgente b) Gruppi Frigoriferi

I rilievi fonometrici delle emissioni sonore prodotte dalle succitate sorgenti di rumore sono stati eseguiti a fine giugno del 2004, e i risultati sono stati i seguenti:

N°.	Condizione di rilevazione	Ora Inizio	Dur. (min.)	L <sub>eq</sub> dB(A)
-----	---------------------------	------------	-------------	-----------------------

1	Residuo Fra i due gruppi	15:39:07	1	42,0
2	Ambientale Angolo + 17,30 m, lato gruppi a circa 3 m dalla sorgente	15:54:42	1	48,0

*Tabella b:* Riassunto delle misure eseguite sui gruppi di refrigerazione

Anche in questo caso, l'analisi a terzi di ottava in tempo reale, non ha evidenziato componenti tonali nel rilievo svolto, si veda la seguente Figura 19:

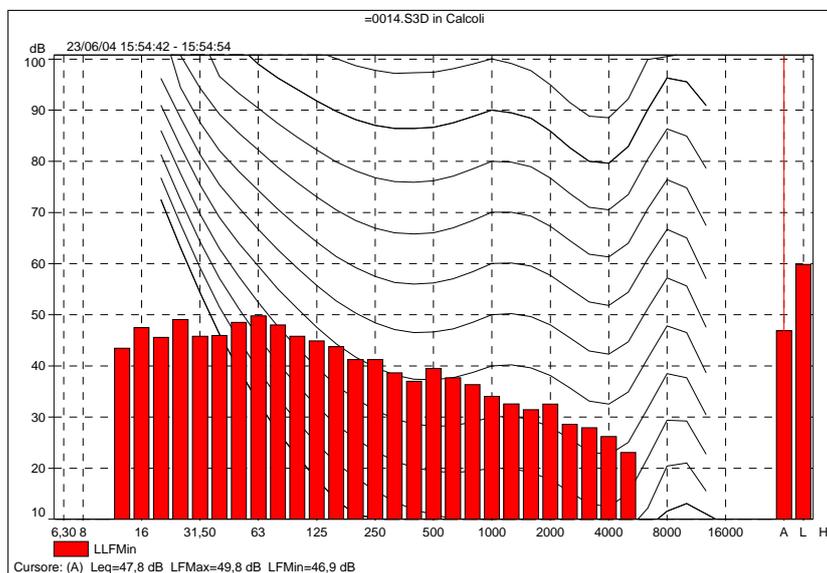


Figura 19 -Spettro del  $L_{\min}$  registrato a 3 m dai gruppi frigo

### *Sorgenti c) Unità Trattamento Aria Ala Nord*

Per valutare le massime emissioni sonore, si è volutamente forzato il funzionamento della U.T.A., facendo funzionare al massimo e contemporaneamente tutti i ventilatori centrifughi, si è rilevato quanto segue:

N°.	Condizione di rilevazione	Ora Inizio	Dur. (min.)	$L_{eq}$ dB(A)
1	Ambientale Angolo + 17,30 m, lato gruppi a circa 3 m dalla sorgente principale (30 UTA 01)	10:32:12	1	52,0

*Tabella c:* Riassunto delle misure eseguite sulle Unità Trattamento Aria Ala Nord

Anche in questo caso, non sono state individuate componenti tonali nel rilievo svolto.

#### ***Sorgenti d) Unità Trattamento Aria Ala Sud***

Analogamente a quanto visto per la sorgente c), anche per queste UTA si è acceso alla velocità massima il ventilatore centrifugo, i risultati sono stati i seguenti:

<b>N°.</b>	<b>Condizione di rilevazione</b>	<b>Ora Inizio</b>	<b>Dur. (min.)</b>	<b>L<sub>eq</sub> dB(A)</b>
1	Ambientale 40 UTA 02 A 2 m dalla griglia espulsione aria	10:42:36	1	53,0
2	Ambientale 40 UTA 01 A 1 m dalla griglia espulsione aria	10:56:22	1	59,0

*Tabella d:* Riassunto delle misure eseguite sulle Unità Trattamento Aria Ala Sud

Anche in questo caso, non sono state individuate componenti tonali nel rilievo svolto.

### **4.3 Calcolo del livello di rumore immesso all'interno dell'abitazione a finestre aperte e valutazione impatto acustico per il periodo notturno**

Si è proceduto poi alla valutazione per via analitica delle immissioni sonore possibili all'interno dell'abitazione nel periodo notturno, così come individuato dalla legge quadro sull'inquinamento acustico (Legge 447/95).

#### ***4.3.1 Ala Nord***

***Sorgente a) Centrale Termica – ricettore a 16 m.***

Partendo dal livello di pressione sonora continuo equivalente rilevato ad 1 m dalla porta della Centrale Termica, con 2 bruciatori al massimo, si procede al calcolo del livello di rumore immesso all'esterno dell'abitazione visibile nella Foto 1 riportata in Figura 17 :

Livello di rumore ambientale rilevato a 1 m dalla centrale termica

$$L_{A1} = 66,5 \text{ dB(A)};$$

Attenuazione, A, per la distanza fra il punto di rilievo e l'abitazione in campo libero:

$$A = 20\log_{10}(16/1) = 24 \text{ dB(A)}.$$

Dall'esame dei luoghi, si rileva che la sorgente in esame risulta essere parzialmente schermata dalla muratura perimetrale in muratura alta 1,46 m, posta ad una distanza di 1,9 m dalla centrale, si veda la seguente Foto 2 di figura 20:



Figura 20 - Foto 2: Vista della muratura perimetrale vicina alla Centrale Termica

Questo schermo parziale, anche se induce un'attenuazione alla propagazione sonora alle emissioni prodotte dalla caldaia, per sicurezza tale attenuazione non è stata presa in considerazione, ma viene assunta come fattore di sicurezza nel calcolo.

Il livello di pressione sonora risultante, all'esterno in terrazza, vale:

$$L_{Aa} = 67 - 24 = 42,5 \text{ dB(A)}.$$

Questo risultato ha reso necessario realizzare tutti i possibili accorgimenti per la corretta insonorizzazione dei bruciatori, che per ragioni di spazio si è dovuta realizzare in opera su misura. Comunque fino ad oggi il rumore generato dalla C.T. non ha generato nessun tipo di reclamo.

### ***Sorgente b) Gruppi frigoriferi***

Partendo dal livello di pressione sonora continuo equivalente rilevato a 3 m dai gruppi, con le 2 unità a regime, si è effettuato il calcolo del livello di rumore immesso all'esterno in prossimità dell'abitazione in esame.

Livello di rumore ambientale rilevato a 3 m  $L_{A2} = 48,0$  dB(A);

Attenuazione, A, per distanza fra il punto di rilievo e l'abitazione in campo libero:

$$A = 20 \log_{10}(16/3) = 14,5 \text{ dB.}$$

Il livello di pressione sonora, all'esterno sulla terrazza, vale:

$$L_{Ab} = 48 - 14,5 = 33,5 \text{ dB(A).}$$

### ***Sorgente c) Unità Trattamento Aria***

Partendo anche in questo caso dal livello di pressione sonora continuo equivalente rilevato a 3 m dalla sorgente principale, si procede al calcolo del livello di rumore immesso all'esterno in prossimità dell'abitazione in esame.

Livello di rumore ambientale rilevato a 3 m  $L_{A3} = 52,0$  dB(A);

Attenuazione, A, per distanza fra il punto di rilievo e l'abitazione in campo libero:

$$A = 20 \log_{10}(16/3) = 14,5 \text{ dB.}$$

Il livello di pressione sonora, all'esterno sulla terrazza, vale:

$$L_{Ac} = 52 - 14,5 = 37,5 \text{ dB(A).}$$

### ***Rumore totale immesso dalle sorgenti di rumore presenti nell'Ala Nord***

Si è infine proceduto, a stimare il livello di rumore immesso all'interno dell'abitazione con tutti gli impianti tecnologici posti in Ala nord del Teatro La Fenice funzionanti a regime, ovvero tenendo conto delle sorgenti a, b, c funzionanti a regime massimo.

E' ovvio che tale scenario non è sicuramente verificabile dopo le ore 22:00. Infatti, nella normale conduzione del teatro, è assai difficile che contemporaneamente e di notte

siano in funzione tutte le caldaie per il riscaldamento e i gruppi frigoriferi per la refrigerazione. A seconda delle stagioni una delle due componenti al massimo lavora in condizioni di parzializzazione.

Rumore totale immesso in ambiente esterno, impianti a regime:

$$L_{Aa} + L_{Ab} + L_{Ac} = 10\log_{10}(10^{42,5/10} + 10^{33,5/10} + 10^{37,5/10}) = 44,0 \text{ dB(A)}.$$

Ponendo per l'attenuazione di una finestra aperta circa 5 dB si ottiene:

$$L_{AFA} = 44,0 - 5 = 39,0 \text{ dB(A)} < 40 \text{ dB(A)} \text{ previsti per legge.}$$

Infatti si ribadisce come per il periodo notturno, il limite di soglia indicato dall'art. 4 del D.P.C.M. 14/11/97 valga 40 dB(A), e al di sotto del quale il rumore è da ritenersi accettabile. Nella presente analisi si ritiene, per quanto detto, di ipotizzare un coefficiente di sicurezza pari a 2 dB(A), per il funzionamento normale.

#### 4.3.2 Ala Sud

##### *Sorgente d1) Unità Trattamento 40 UTA 02*

Partendo dal livello di pressione sonora continuo equivalente rilevato a 2 m dalla UTA, si procede al calcolo del livello di rumore immesso all'interno dell'abitazione visibile nella Foto 3 di seguito riportata:



Figura 21- Foto 3: Vista espulsione aria 40 UTA 02, abitazioni in direzione San Marco

Livello di rumore ambientale rilevato a 2 m  $L_p = 53,0 \text{ dB(A)}$ ;

Attenuazione,  $A$ , per distanza fra il punto di rilievo e l'abitazione a circa 50 m, in campo libero:

$$A = 20\log_{10}(50/2) = 28 \text{ dB.}$$

Il livello di pressione sonora, all'esterno dell'abitazione, vale:

$$L_{A \text{ dl}} = 53 - 28 = 25 \text{ dB(A).}$$

Ponendo per l'attenuazione di una finestra aperta circa 5 dB si ottiene

$$L_{A \text{ F.A.}} = 25,0 - 5 = 20,0 \text{ dB(A)} < 40 \text{ dB(A)} \text{ previsti per Legge.}$$

### ***Sorgente d2) Unità Trattamento***

Partendo dal livello di pressione sonora continuo equivalente rilevato a 1 m dalla UTA, si procede al calcolo del livello di rumore immesso all'interno dell'abitazione visibile nella Foto 4 di seguito riportata:



Figura 22 - Foto 4: Vista espulsione aria 40 UTA 01, abitazioni in direzione Giudecca

Livello di rumore ambientale rilevato a 1 m  $L_p = 59,0 \text{ dB(A)}$ ;

Attenuazione,  $A$ , per distanza fra il punto di rilievo e l'abitazione a circa 40 m, in campo libero:

$$A = 20\log_{10}(40/1) = 32 \text{ dB.}$$

Il livello di pressione sonora, all'esterno dell'abitazione, vale:

$$L_{A d2} = 59 - 32 = 27 \text{ dB(A)}.$$

Ponendo per l'attenuazione di una finestra aperta circa 5 dB si ottiene

$$L_{A F.A.} = 27,0 - 5 = 22,0 \text{ dB(A)} < 40 \text{ dB(A)} \text{ previsti per Legge.}$$

## **5. Conclusioni**

La stima d'impatto acustico sopra svolta ha evidenziato che le emissioni sonore prodotte dagli impianti tecnologici esterni non eccede il limite di rumorosità vigente per il periodo notturno. Tale analisi è peraltro confermata dal funzionamento oramai a regime del Teatro, il quale non ha mai subito reclami dal vicinato per disturbi dovuti al rumore generato dalle macchine.

Partecipare alla ricostruzione di un Teatro, quale La Fenice di Venezia, è una esperienza importante, che lascia un segno indelebile nel percorso formativo di ogni tecnico. Questo è quanto successo per gli autori, i quali si ricorda sono solo una parte dei tecnici che hanno contribuito al raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Sicuramente dal punto di vista impiantistico, a distanza di più di tre anni dall'inaugurazione la componente acustica degli impianti fin qui analizzata ha continuato a mantenersi nel tempo, anche merito di una efficiente manutenzione, nel dare le prestazioni richieste.