

## STATO DELL'ARTE PROGETTI E TECNOLOGIE

### PROGETTO MON ACUMEN

“ MONitorage Actif Conjoint Urbain-MaritimE de la Nuisance”

Progetto n. 154

CUP B52H17000770003

#### Componente T1 - Attuazione

**Attività T1.1- Stato dell'arte dispositivi di rilevamento acustico**

**Prodotto T1.1.1 – Report – Tecnologie disponibili**

**Data di consegna prevista: M5**

**Data di consegna effettiva: M7**

Organizzazione responsabile: Università degli studi di Genova

<b>PU</b>	Pubblico	<b>X</b>
<b>CO</b>	Confidenziale, solo per i partner	

	T1.1.1
	UNIGE

	T1 - Attuazione
--	-----------------

Emile Leonard Waffo Kamdem	UNIGE	emile.leonard.waffo.kamdem@edu.unige.it
Tomaso Gaggero	UNIGE	tomaso.gaggero@unige.it
Davide Borelli	UNIGE	davide.borelli@unige.it
Corrado Schenone	UNIGE	corrado.schenone@unige.it
Adelphe Yousseu	UNIGE	adelphe.yousseu@edu.unige.it

V.0	01.10.2018	Redazione/Redaction	Emile Leonard Waffo Kamdem Tomaso Gaggero Davide Borelli Corrado Schenone Adelphe Yousseu

Il presente documento riporta lo stato del arte per quanto riguarda la strumentazione e le tecnologie adottato nell'ambito del monitoraggio del rumore portuale ed in ambiti limitrofi che presentano problematiche simili e che quindi possono essere adottati allo scopo del progetto.

Ce document présente l'état de l'art en ce qui regarde l'instrumentation et de technologies adoptées dans le domaine de la surveillance du bruit des ports et dans les zones limitrophes qui présentent des problèmes similaires et qui peuvent donc être adoptées pour le but du projet.

## Introduzione

La misurazione dei livelli sonori prodotti da una grande varietà di sorgenti di rumore nelle aree portuali è divenuta usuale in molti paesi da almeno una quindicina di anni.

Tra le numerose sorgenti di rumore presenti nelle aree portuali, la nave nel suo insieme rappresenta una fonte di rumore piuttosto complessa. La nave, quando naviga lungo le coste o i canali, presenta caratteristiche assimilabili a quelle delle tipiche fonti mobili come veicoli stradali, treni, aerei. Quando è ormeggiata in banchina, può essere assimilate a sorgenti complesse come ad esempio gli impianti industriali. Il suo impatto acustico è triplice, interno alla nave, esterno nell'acqua e nell'aria;

quest'ultimo dipende da dalle caratteristiche dell'area circostante (orografia, distribuzione spaziale degli edifici e della popolazione, anche condizioni meteorologiche: vento, neve). Le sorgenti di rumore irradiato in aria sono rappresentate da tutte quelle aperture che in qualche modo si mette in comunicazione l'interno della nave con l'esterno. In particolare la principali sorgenti possono essere individuate in fumaioli (scarico motore), prese di ventilazione apparato motore e ventilazione del carico. Il rumore irradiato in aria può impattare in particolare sulla popolazione residente in aree limitrofe all'area portuale. Tale configurazione è tipica di molti porti europei ed in particolare di quelli affacciati sul Mediterraneo attorno ai quali storicamente si è sviluppato un complesso tessuto urbano.

Di seguito viene valutato lo stato dell'arte e le novità degli strumenti e delle tecniche di misurazione e monitoraggio del rumore portuale, o meglio vengono presi in considerazione i mezzi disponibili per caratterizzare la percezione da parte dei ricevitori nei vari contesti, al fine di caratterizzare l'emissione acustica e di valutarne l'impatto sulla popolazione. L'introduzione più o meno recente di norme e requisiti nei diversi settori è discussa e analizzata al fine di evidenziare l'evoluzione delle preoccupazioni sociali circa l'impatto del rumore della nave. Sfortunatamente, al momento, non sono disponibili strumenti specifici per caratterizzare, valutare e controllare questo tipo di fonte-nave che ha le particolarità sopracitate, perciò si usano gli indicatori acustici attualmente adottati per le fonti mobili e fisse.

L'attività di monitoraggio deve tenere conto delle norme, dell'identificazione della sorgente di rumore, e della sua misurazione; in seguito è necessaria la mappatura sonora, ovvero mettere a sistema tutte le informazioni necessarie per una corretta contestualizzazione dei dati di inquinamento acustico, nello spazio e nel tempo, in relazione ai diversi fattori.

Scopo delle presente analisi è quello di analizzare criteri generali già adottati nel passato per tipologie di sorgente differenti da quelle portuali, mancando ancora una normativa specifica, al fine di fornire indicazioni per pianificare, progettare e svolgere il monitoraggio dell'inquinamento acustico delle attività portuali e migliorarne la mappatura.

## Legislazione

La situazione attuale é brevemente ricordata nella tabella seguente:

LEGGE 26 ottobre 1995 n. 447	Legge quadro sull'inquinamento acustico
D.P.C.M 1 Marzo 1991	Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno
D.P.C.M 14 Novembre 1997	Determinazione dei valori limiti delle sorgenti sonore
D.M. 16 Marzo 1998	Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico
Direttiva 2002/49/CE	Determinazione e gestione del rumore ambientale
Direttiva 2003/44/EC	La valutazione del rumore emesso dalle imbarcazioni da diporto

Direttiva 2003/613/CE	Linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità
-----------------------	--

### Norme esistenti

Lo stato dell'arte dei quadri normativi riguardanti il contesto del rumore irradiato nell'aria, che comprende gli aspetti della generazione, trasmissione e percezione del rumore è qui esposto:

ISO 2922:2000	Misurazione del rumore nell'aria generato da navi per navigazione interna e portuale (2001)	La norma stabilisce le condizioni per ottenere misure riproducibili e comparabili del livello sonoro e dello spettro del rumore generato da navi di ogni tipo in navigazione interna e portuale. L'area tra la nave sottoposta a prova e il microfono di misurazione deve essere aperta, libera da oggetti fonoassorbenti o riflettenti e il microfono deve essere posizionato a 3,5 m $\pm$ 0,5 m sopra la superficie dell'acqua e, se è montato su una superficie solida, deve essere posizionato ad almeno 1,2 m sopra tale superficie. Il microfono deve essere posizionato entro $\pm$ 0,5 m dal bordo della superficie sopra cui è montato. Per le navi ferme in banchina, la distanza tra lo scafo della nave e il microfono deve essere di 25 m $\pm$ 2 m dal lato e in diversi punti attorno alla nave e 1 m (quando si misurano i livelli di pressione sonora all'aspirazione e allo scarico del motore o del sistema di condizionamento e raffreddamento). Per le navi in movimento, la distanza tra il lato della nave e il microfono deve essere di 25 m $\pm$ 5 m
---------------	---	---

<p>ISO 3095:2013</p>	<p>Applicazioni ferroviarie-Acustica- Misura del rumore emesso dai veicoli ferroviari</p>	<p>La norma specifica i metodi di misurazione e le condizioni per ottenere livelli e spettri di emissione acustica verso l'esterno riproducibili e comparabili per tutti i tipi di veicoli che operano su rotaia o altri tipi di binario fisso: Per veicoli stazionari, ogni punto di misurazione deve trovarsi a una distanza di 7,5 m dalla mezzeria del binario ad un'altezza di 1,2 m al di sopra della superficie superiore del binario e L'asse del microfono deve essere orizzontale e diretto perpendicolarmente al contorno dell'unità. Per i veicoli in movimento, la posizione del microfono dipende dalla velocità del treno. Se la velocità è inferiore a 200 km/h, i microfoni devono essere situati a una distanza di 7,5 m dalla mezzeria del binario ad un'altezza di 1,2 m al di sopra della superficie superiore del binario; In alternativa, per velocità maggiori o uguali a 200 km / h, i microfoni devono essere situati a una distanza di 25 m dalla mezzeria del binario ad un'altezza di 3,5 m. La misurazione deve essere effettuata su entrambi i lati dell'unità. Se tutti e due sono acusticamente identici (cioè hanno una distribuzione simmetrica di sorgenti di rumore), è possibile omettere i punti di misurazione su un lato dell'unità.</p>
<p>ISO 3746:2010</p>	<p>Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora e dei livelli di energia sonora delle sorgenti di rumore mediante misurazione della pressione sonora - Metodo di controllo con una superficie avvolgente su un piano riflettente</p>	<p>La norma specifica i metodi per la determinazione del livello di potenza sonora e del livello di energia sonora di una sorgente di rumore dai livelli di pressione sonora misurati su una superficie di misurazione contenente detta sorgente (macchina o dispositivo) in un ambiente di prova dalle caratteristiche specificate. La posizioni del microfono sulla superficie di misurazione emisferica: per una sorgente di rumore testata adiacente ad un piano riflettente, i microfoni devono essere situati nelle quattro posizioni; per una sorgente di rumore testata adiacente a due piani riflettenti, i microfoni devono essere posizionati nelle tre posizioni; per</p>

		<p>una sorgente di rumore testata adiacente a tre piani riflettenti, i microfoni devono essere posizionati nelle tre posizioni.</p> <p>La posizioni del microfono sulla superficie di misurazione a parallelepipedo: il numero e la posizione dei microfoni dipendono dalle dimensioni della superficie di misurazione e dalla distanza di misurazione. Se la sorgente in prova irradia il rumore prevalentemente in una direzione o se il rumore proveniente da una grande sorgente viene emesso solo da una piccola parte della sorgente, si deve prendere in considerazione l'uso di posizioni extra localizzate sulla superficie di misurazione nella regione di alta radiazione.</p>
ISO 9613-1:1993	Acustica - Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto – Parte 1: Calcolo dell'assorbimento atmosferico	La norma specifica un metodo analitico per calcolare l'attenuazione sonora causata dall'assorbimento atmosferico in diverse condizioni meteorologiche quando il suono proveniente da qualunque sorgente si propaga in atmosfera libera. Per i suoni a toni puri, l'attenuazione causata dall'assorbimento atmosferico è specificata sotto forma di coefficiente di attenuazione come funzione di quattro variabili: frequenza del suono, temperatura, umidità e pressione dell'aria.
ISO 9613-2	Acustica - Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto – Parte 2: Metodo generale di calcolo	La norma fornisce un metodo tecnico progettuale per calcolare l'attenuazione sonora nella propagazione all'aperto allo scopo di valutare i livelli di rumore ambientale a determinate distanze dalla sorgente. Il metodo valuta il livello di pressione sonora ponderato A in condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione da sorgenti di emissione sonore note. Nel caso dei cantieri il metodo di calcolo semplificato è generalmente adeguato. Se le postazioni di misura non sono molto lontane dal cantiere, il calcolo può essere ulteriormente semplificato limitandolo al termine di divergenza geometrica.

ISO 9614-1	Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore mediante il metodo intensimetro - Parte 1: Misurazione per punti discreti	La norma prescrive un metodo per la misurazione della componente dell'intensità sonora normale a una superficie di misurazione scelta in modo da racchiudere la sorgente di rumore di cui si deve determinare il livello di potenza sonora per poterlo calcolare per banda di ottava, di terzo di ottava o il valore ponderato su un numero limitato di bande.
ISO 12001:2009	Acustica - Rumore emesso dalle macchine e dalle apparecchiature - Regole per la stesura e la presentazione di una procedura per prove di rumorosità	La norma indica i requisiti tecnici di una procedura per prove di rumorosità per una famiglia specifica di macchine od apparecchiature. Essa si applica in primo luogo alle macchine e alle apparecchiature stazionarie, ivi compresi gli utensili portatili, nonché a quelle che presentano dei rischi dovuti alla mobilità o al sollevamento di carichi.
ISO 14509-1:2008	Unità di piccole dimensioni - Rumore nell'aria generato dalle imbarcazioni da diporto a motore - Parte 1: Procedure di misurazione per la prova al passaggio	La norma specifica le condizioni per l'ottenimento di risultati di misurazioni riproducibili e confrontabili del livello massimo di pressione sonora del rumore aereo generato al passaggio di unità da diporto con motore con scafo fino a 24 m di lunghezza. L'area compresa tra l'imbarcazione sottoposta a prova e il microfono di misurazione deve essere aperta e priva di oggetti fonoassorbenti o riflettenti che possano influire sulla misurazione. Per imbarcazioni di lunghezza inferiore a 6 m, il microfono può essere posizionato a una distanza di 12,5 m $\pm$ 1 m dalla sorgente e per lunghezza maggiore deve essere distanza di 25 m $\pm$ 2 m.
ISO 20906:2009	Monitoraggio non presidiato del rumore degli aerei nelle vicinanze degli aeroporti.	Scopo dello standard è quello di dare la descrizione di un metodo atto a riconoscere evento acustici in uno scenario acustico complesso caratterizzata dalla presenza di un numero di aerei e alter sorgenti acustiche
UNI 11143:2005	"Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti"	La norma descrive il procedimento per stimare i livelli di rumore previsti per una specifica sorgente o attività definendo le applicazioni di tipo previsionale e l'approccio metrologico in funzione delle diverse tipologie di sorgenti e dell'ambiente circostante.

UNI 10855:1999	Acustica - Misura e valutazione del contributo acustico di singole sorgenti	La norma fornisce una serie di indicazioni finalizzate a identificare singole sorgenti sonore in un contesto ove non è trascurabile l'influenza di altre sorgenti e a valutarne il livello di pressione sonora.
UNI/TR 11326:2009	Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 1: Concetti generali	Il rapporto tecnico fornisce linee guida di facile leggibilità per la valutazione e l'espressione dell'incertezza in acustica in maniera conforme alla UNI CEI ENV 13005. La norma introduce le regole fondamentali per la valutazione e l'espressione dell'incertezza dei risultati di misurazioni e calcoli con particolare riguardo al campo dell'acustica applicata.
NF S 31-010:1996	Acustica - Caratterizzazione e misurazione del rumore l'ambiente	La normativa è usata nel quadro del regolamento "Rumore di vicinato". Indica la metodologia da applicare nello svolgimento della misura.
NF S 31-085	" Acustica - Caratterizzazione e misurazione del rumore dovuto al traffico stradale"	La normativa descrive un metodo di misurazione in situ del rumore risultante dal traffico stradale derivante da un'infrastruttura di trasporto in conformità ai principi della norma NF S 31- 010

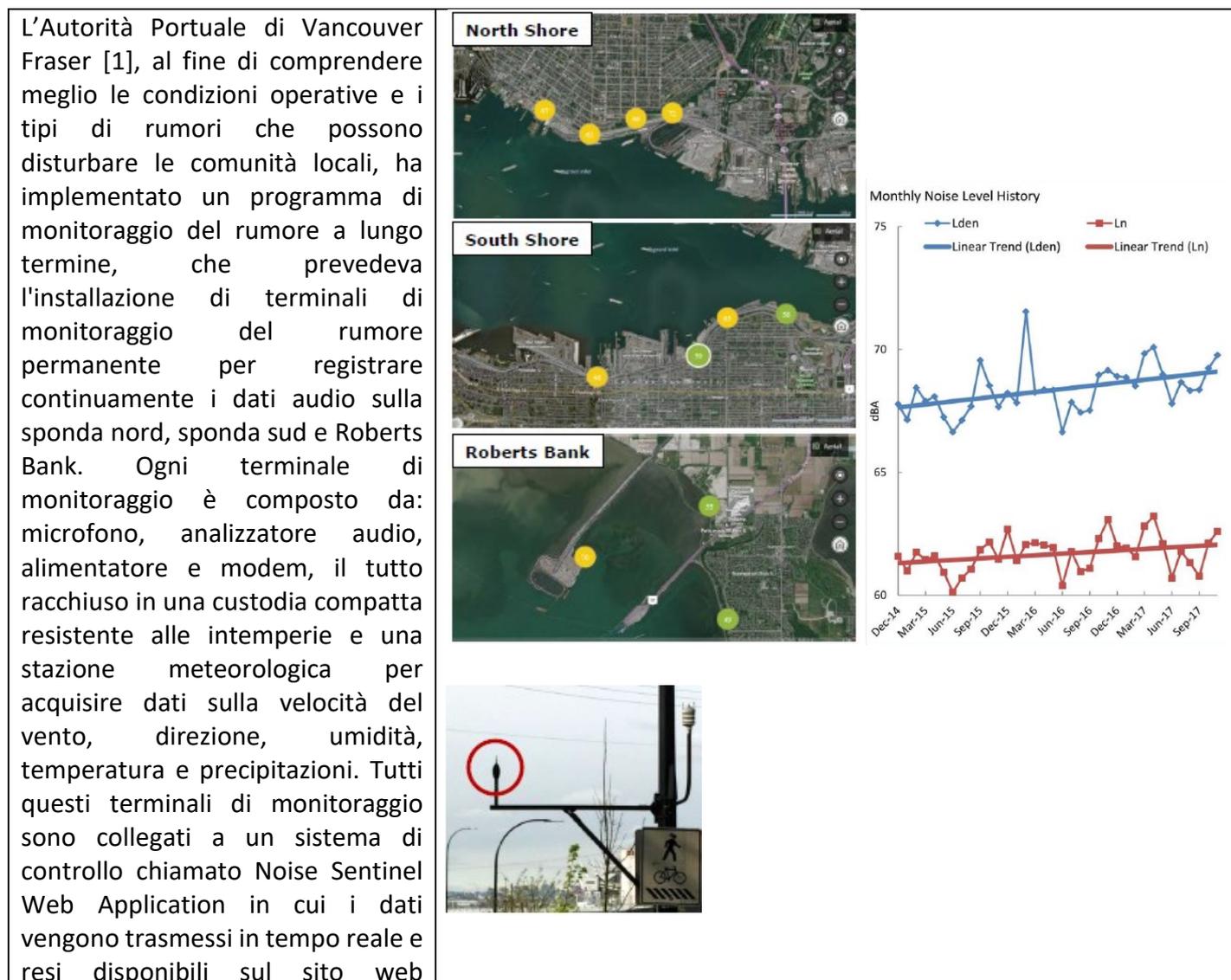
## Tecniche utilizzate per il monitoraggio del rumore portuale

Di seguito viene fornita una analisi delle attività svolte nell'ambito del monitoraggio del rumore portuale ed in ambiti con caratteristiche simili, focalizzando in particolare l'attenzione sulle diverse tipologie di strumento utilizzabile e di conseguenza sui diversi dati ottenibili.

### Fonometri

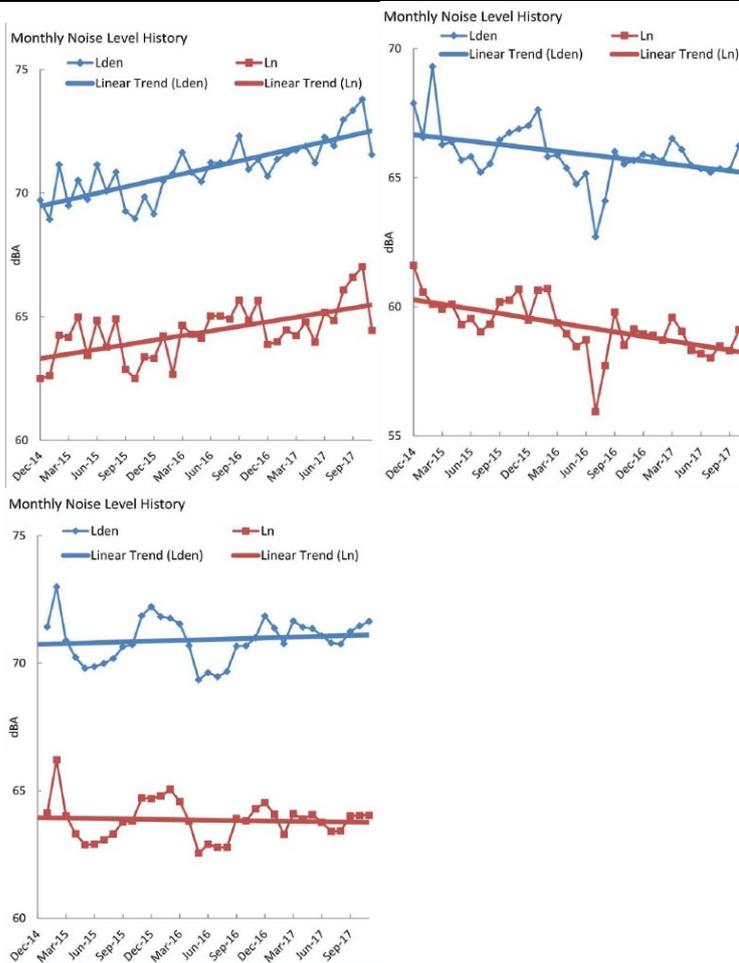
Il fonometro è costituito da vari dispositivi: il trasduttore, che se il mezzo di propagazione è l'aria si chiama microfono; l'amplificatore, che serve per amplificare i livelli sonori, specialmente quelli bassi; il banco di filtri; il dispositivo integratore; ed infine l'apparecchiatura esterna, che consente di leggere le misure direttamente sul display ed eventualmente di memorizzarle.

Si riportano ora alcuni progetti che hanno adoperato questo strumento.



dell'autorità portuale; questi sono utilizzati per la pianificazione dell'uso del territorio, per valutare le opportunità di minimizzare il rumore e per coinvolgere gli utenti portuali. A titolo di esempio viene riportato un riepilogo dei dati sui livelli di rumore (Day-Evening-Night Equivalent Sound Level, e Nighttime Equivalent Sound Level) registrati nel 2014-2017 riferiti al 4 terminale di monitoraggio della sponda nord.

La stessa metodologia è stata adottata nell'ambito dello studio acustico riguardante l'attività del porto commerciale dell'Île Rousse [19], al fine di attuare un piano di sviluppo portuale. Lo studio consisteva a realizzare tre misurazioni a lungo termine sugli assi principali dell'Île Rousse. [19]



Di Bella A et al. [2] nell'ambito del progetto Eco.Port (cod.41) promosso dall'autorità portuale di Venezia, avevano come obiettivo la descrizione e caratterizzazione acustica di quattro tipologie di natanti rappresentative dell'ambito portuale veneziano. L'attività di misura è stata condotta nel periodo di agosto 2008 – aprile 2009 e individuata in cinque aree con un totale di 93 rilevazioni di cui: 5 di lunga durata (monitoraggio non presidiato), 6 di media durata (misura giornaliera presidiata) e 82 di breve durata (sorgente o eventi specifici di durata inferiore a 45 minuti). Attraverso l'utilizzo dello strumento conoscitivo rappresentato dalle mappe acustiche, l'elaborazione dei dati e l'applicazione delle metodologie fornite dai diversi standard tecnici nazionali ed internazionali (in particolare la norma UNI 11143, UNI 10855, ISO 9613-2) gli hanno permesso di definire i valori del livello di potenza sonora emesso dalle diverse tipologie di natanti ormeggiate presso le banchine del porto. Tali dati verranno successivamente utilizzati all'interno del modello di calcolo per valutare gli effetti indotti in ambito urbano dalla presenza diverse combinazioni di natanti. Mentre per quanto riguarda le navi in transito, è stato effettuato un monitoraggio di durata settimanale (la postazione microfonica è a 6.3 m di altezza dal suolo e ad 1 m dalla facciata di un edificio appartenente



**Marittima:**  
- Fabbricato 123  
- Banchina Isonzo



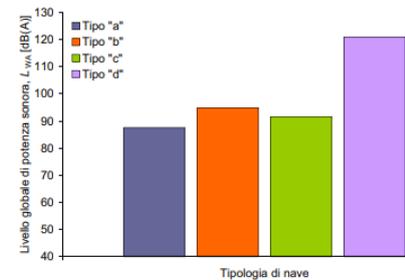
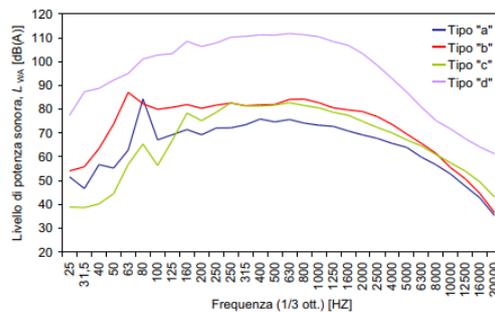
**S. Marta / S. Basilio:**  
Ufficio Polizia di Frontiera



**Riva Sette Martiri:**  
Ismar-CNR



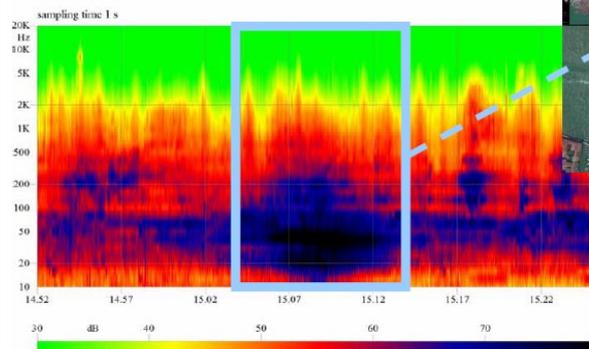
**Riva delle Zattere:**  
Ex Sede APV



nave	direzione	SEL dB(A)
A	arrivo	87 - 90
A	partenza	89 - 90
B	arrivo	88 - 91
B	partenza	88 - 89

Valori di SEL, arrotondati all'unità, riferiti ad una distanza sorgente-ricevitore di circa 170 m

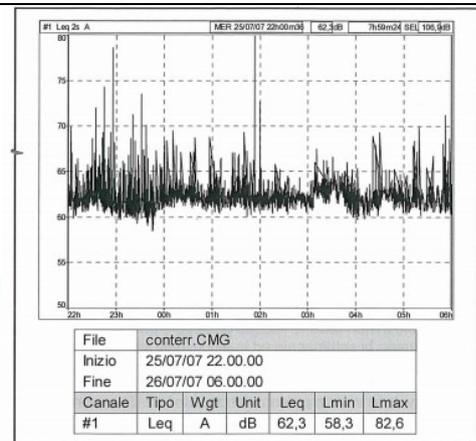
sonogram: Leq time history; 1/3 octave band, linear



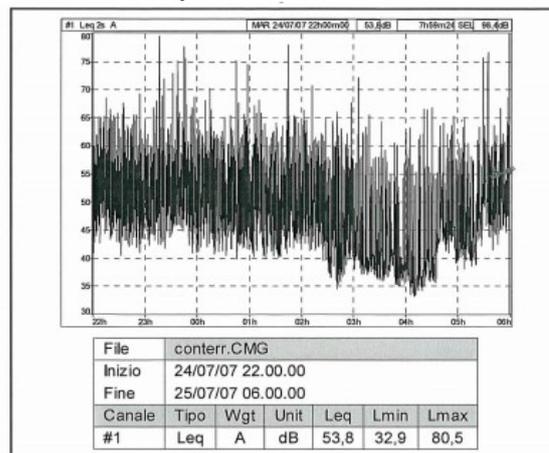
alla prima cortina edificata lungo il canale della Giudecca), impostando la centralina in modo da registrare tutti i principali parametri acustici ad intervalli di un secondo. Per l'analisi dei transiti è stata quindi utilizzata la storia temporale degli spettri lineari in terzi d'ottava.

Sansone S. et al. [3] hanno monitorato per 30 giorni circa nel periodo estivo, il rumore emesso dalla nave cisterna che rifornisce quotidianamente l'isola di Lipari. La nave scarica l'acqua in 10 ore notturne. Le misurazioni sono state effettuate da una terrazza di un'abitazione prospiciente la zona di attracco.

I dati del rumore ambientale e i grafici rappresentano i risultati ottenuti in due giorni consecutivi sia in presenza che in assenza della nave solo nelle ore notturne (22\06). Le caratteristiche rilevate sono la costanza del disturbo e il minor valore medio in assenza della nave.

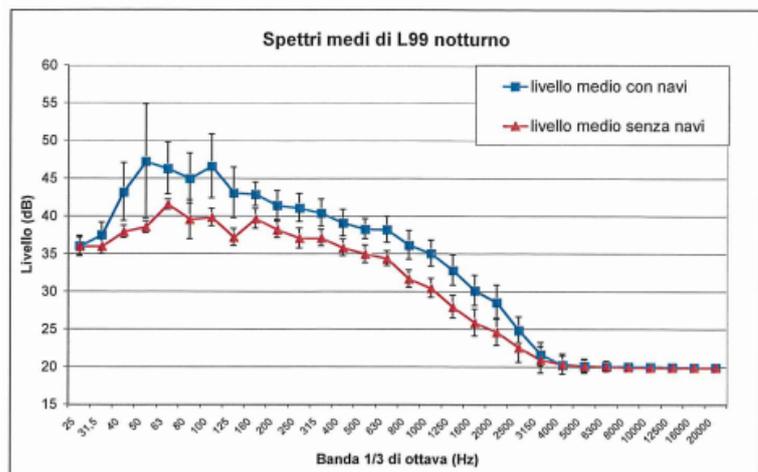
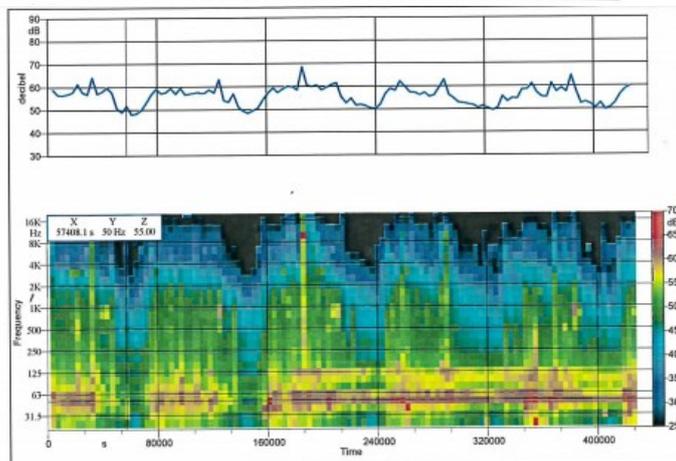
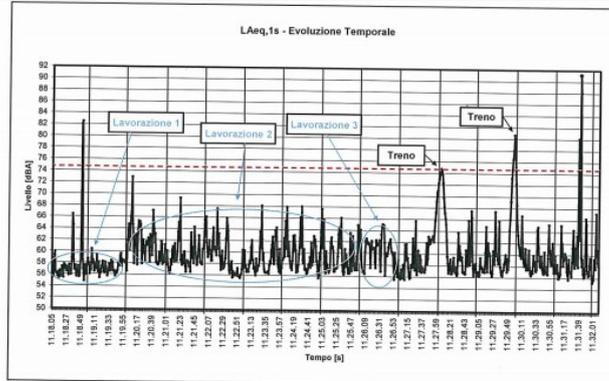


Rumore ambientale rilevato in presenza della nave in Lipari notte dal 25 al 26 Luglio 07



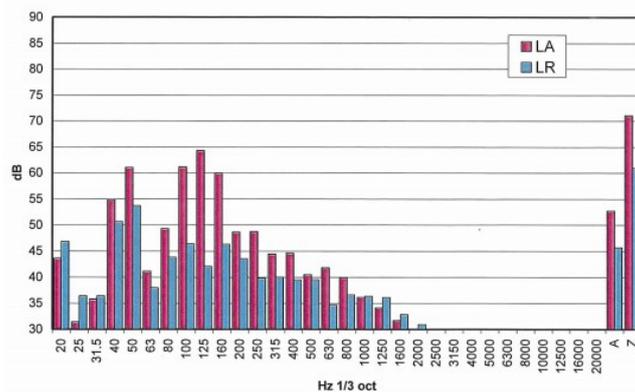
Rumore residuo rilevato in assenza della nave in Lipari notte dal 24 al 25 Luglio 07.

Conte A. et al. [14] hanno svolto misurazioni acustiche in tre aree antropizzate diverse (zona A: impianto industriale in prossimità di una linea ferroviaria; zona B: navi all'ormeggio in una infrastruttura portuale adiacente ad un quartiere abitato e attraversato dalla principale via urbana e da una linea ferroviaria; zona C: un impianto industriale immerso in un tessuto urbano complesso e vicino ad un tratto autostradale) sia con cadenza multisettimanale sia a spot (inferiori o pari ad un'ora), utili per decodificare i risultati del monitoraggio plurigiornaliero discriminando quando possibile il contributo sonoro della sorgente in esame. Per il caso A, come si vede in figura, sono stati riportati i livelli sonori nel loro andamento temporale, considerati per una misura, tra quelle ottenute, a titolo di esempio, evidenziandone i diversi contributi (lavorazioni e transiti ferroviari). In seguito sono stati analizzati i vari contributi singolarmente. Per il caso B, sono stati riportati i risultati per alcuni giorni di monitoraggio su uno spettrogramma che ha evidenziato che l'effetto principale delle emissioni portuali è avvertibile come l'alterazione delle rumorosità di fondo. In questi termini alcune bande di frequenza risultavano statisticamente più significative di altre. Nella figura dello spettro medio L99 notturno si può notare che in presenza di navi all'ormeggio il livello quali-quantitativo risulta



nettamente maggiore con effetti più vistosi alle basse frequenze e in modo sensibile per alcune bande nella parte media dello spettro. Per il caso C, si è rilevato che l'andamento riscontrato è caratteristico delle situazioni dominate dal rumore da traffico (qui autostradale) mentre dallo spettrogramma la misura identifica anche in periodo di digiuno la presenza di una componente stazionaria riconducibile alla sorgente industriale.

Piromalli W. [15] ha riportato la sintesi della ventennale esperienza dell'osservazione dell'impatto acustico generato dalle attività del porto di Genova. Nello specifico lo studio ha analizzato il livello sonoro in diverse zone della città giungendo alle seguenti valutazioni: nelle aree operative portuali il LAeq non supera gli 80 dBA, in prossimità del perimetro portuale la rumorosità avvertibile è quella dovuta all'infrastruttura stradale che supera i 70 dBA (ad eccezione di due postazioni sul perimetro di 10 km). Infine nei quartieri a monte, distanti mediamente 0,5 km in linea d'aria dalle banchine portuali, il LAeq risulta dell'ordine di 50-55 dBA quindi sono avvertibili le sorgenti dell'area portuale. Come esempio si riporta uno spettro che confronta due LAeq (rumore ambientale e rumore residuo) rilevati all'interno di un'abitazione a finestre aperte nella zona di Carignano influenzata dall'area



delle riparazioni navali durante il periodo notturno.

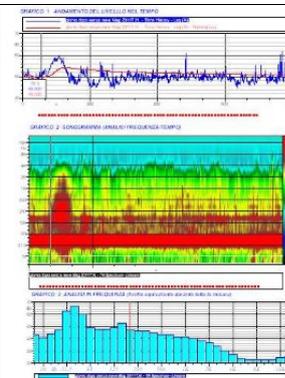
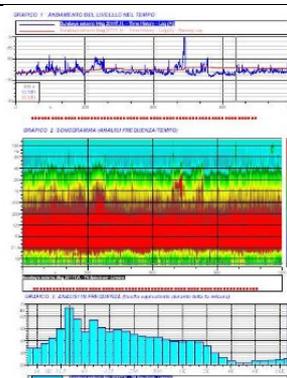
La stessa metodologia è stata adottata dall'Autorità portuale di Guadalupa per caratterizzare gli ambienti sonori del progetto Grand Port [20], effettuando misurazioni di rumore in 10 diverse aree vicino al porto. I risultati delle misurazioni sono riepilogati nella Tabella A a destra.



Points n°	Lieu	Niveau sonore JOUR max	Niveau sonore NUIT max	Zone à surveiller en acoustique	Tranches horaires sensibles où les niveaux sonores sont les plus faibles
1	Immeuble quai de Lesseps PAP	67	59	OUI	JOUR = 7/8h – 16/18h et 20/22h NUIT = 22/4h
2	Immeuble Port Autonome PAP	59	53	NON	JOUR = 16/18h NUIT = 22/4h
3	Collège DE KERMADEC PAP	64	58	OUI	JOUR = variable sur 7h-17h NUIT = 22/4h
4	Gare maritime de Bergevin PAP	56	50	NON	JOUR = 9/11h et 14/16h et 20/22h NUIT = 22/6h
5	Immeubles SEMAG Rue Raspail PAP face au port	63	61 Bruit faune élevé	OUI	JOUR = variable sur 7/17 h NUIT = 22/6h
6	UAG laboratoire biologie marine Carénage PAP	58	51	OUI	JOUR = 11/16h NUIT = 5/6h
7	Capitainerie Marina res Pieds dans l'eau	60	53	OUI	JOUR = variable sur 7/17h NUIT = 22/0h
8	CWTC Jarry	61	57	NON	JOUR = 18/22h NUIT = 22/6h
9	DPJ Jarry	69	62	NON	JOUR = 17/22h NUIT = 22/6h
10	Commerce Cofrigo Distribution Jarry	65	58	NON	JOUR = 7/8 – 14/18h NUIT = 5/7 h

Tabella A

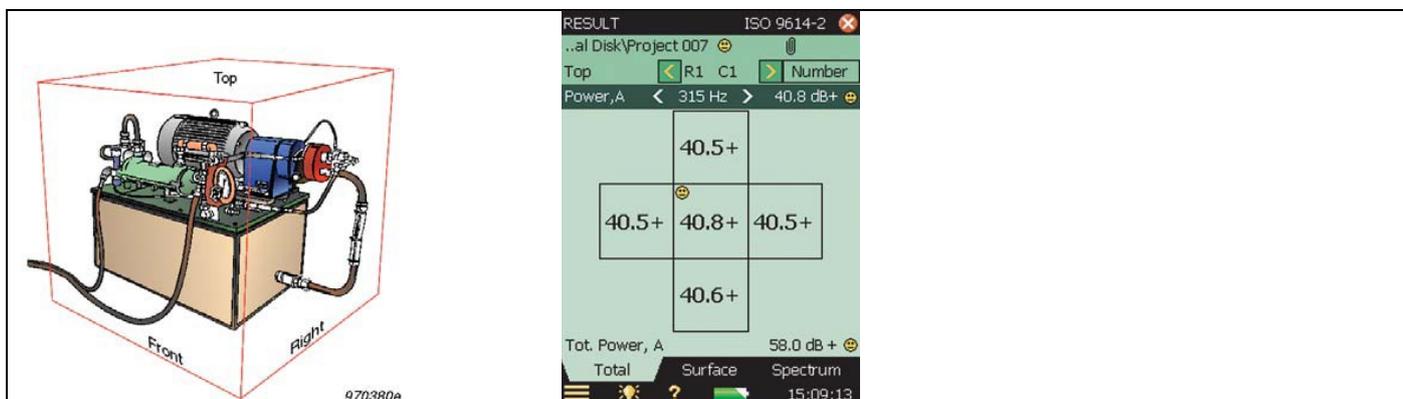
Monte P. [16] ha effettuato un'indagine sulla rumorosità generata dalle navi ormeggiate al Voltri Terminal Europa. Le misurazioni eseguite in particolare sulla nave "Surabaya" hanno fatto emergere l'effettivo rumore causato dal generatore individuato nella gamma di frequenza 100-250 Hz. Con un solo motore acceso invece si è rilevato un livello di 95 dBA all'uscita dello scarico, ragionevolmente ascrivibile allo spostamento d'aria.



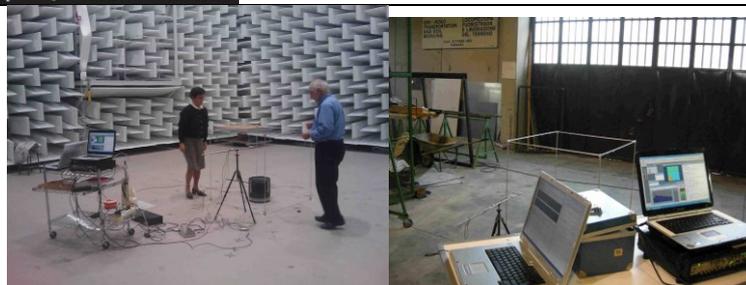
## Sonde intensimetriche

In letteratura non vi sono descritte esperienze di misure di rumore portuale utilizzando sonde intensimetriche. Ciononostante si ritiene utile descrivere le caratteristiche di tale strumenti e la sua potenziale utilità.

Una sonda intensimetrica è costituita da una coppia di due microfoni accoppiati in modulo e fase (sonda P-P) oppure da un microfono e un anemometro a filo caldo (sonda P-V). Questo strumento permette di misurare il livello d'intensità sonora che descrive l'energia presente in una determinata posizione di un campo acustico, cioè l'energia irradiata da una sorgente presente all'interno del campo e che può essere dunque localizzata, deducendone la posizione da una mappatura del campo acustico (sorgente caratterizzata in termini di potenza acustica). Sebbene siano presenti numerose sorgenti all'interno dell'ambiente, si può operativamente assumere che solo il contributo di quelle racchiuse dalla superficie sia significativo, mentre quello delle sorgenti esterne si annulla per effetto dell'integrazione, se esse generano rumore stazionario, e che questo rimanga inalterato durante tutto il tempo delle misure. La scelta della superficie di integrazione è totalmente arbitraria, ma generalmente vengono utilizzate forme geometriche semplici come semisfere, semicilindri, quadrati.

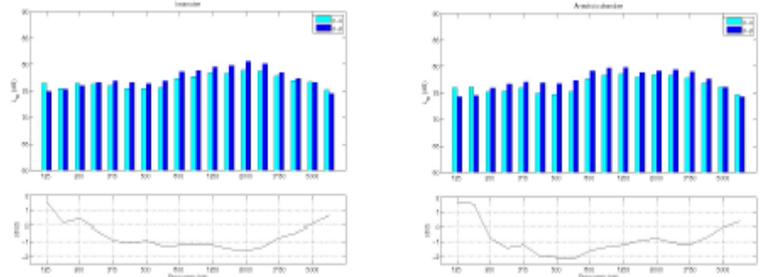


Giorgio Sacchi G. et al. [17] hanno realizzato le misurazioni della potenza sonora utilizzando una sorgente di prova a largo spettro e conducendole in due ambienti molto diversi per caratteristiche acustiche: il capannone dell'istituto CNR Imamoter di Ferrara ha fornito un esempio di ambiente riverberante e disturbato, mentre la camera anecoica presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara è stato scelto come esempio di ambiente controllato e con basso rumore di fondo. La superficie di integrazione è stata definita tramite un cubo di lato  $1 \pm 0.01$  m, ogni faccia del quale è stata suddivisa in nove



	Capannone Imamoter	Camera anecoica
Lw p-v	89.3	89.5
Lw p-p	90.3	90.4

quadrati di lato 33 cm circa in entrambi gli ambienti considerati. Le misure di intensità sono state eseguite al centro di ognuno dei quadrati. Le sonde p-p e p-v sono state montate in modo che i rispettivi centri acustici fossero quanto più vicini possibile, circa 0.5 cm. I risultati ottenuti hanno mostrato come la potenza totale misurata nei diversi ambienti è risultata essere in buon accordo. Mentre, la sottostima di circa 1 dB riscontrato con la sonda p-v potrebbe essere dovuta al segno di un errore sistematico ma comunque entro l'incertezza di misura.

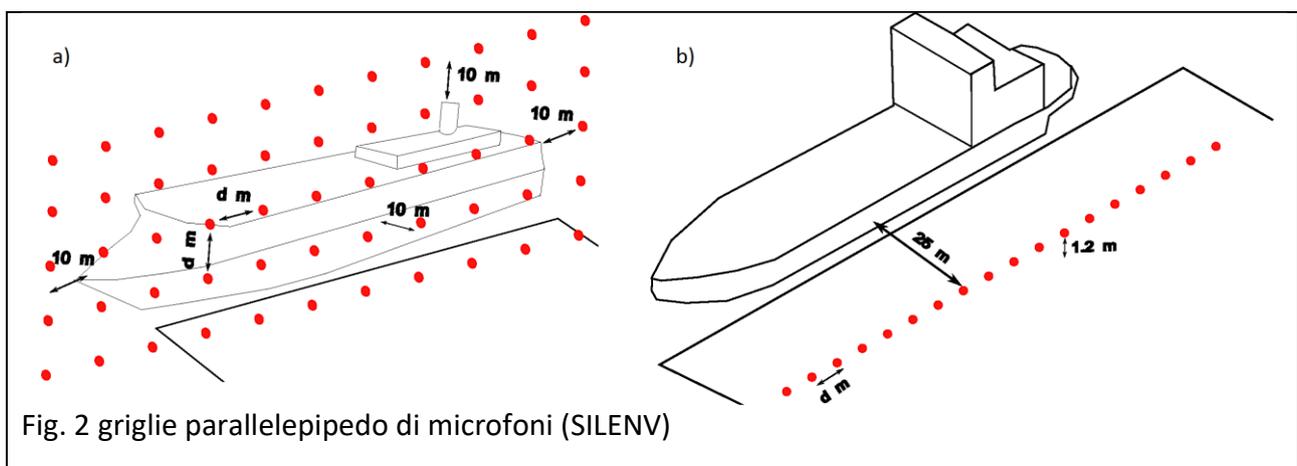
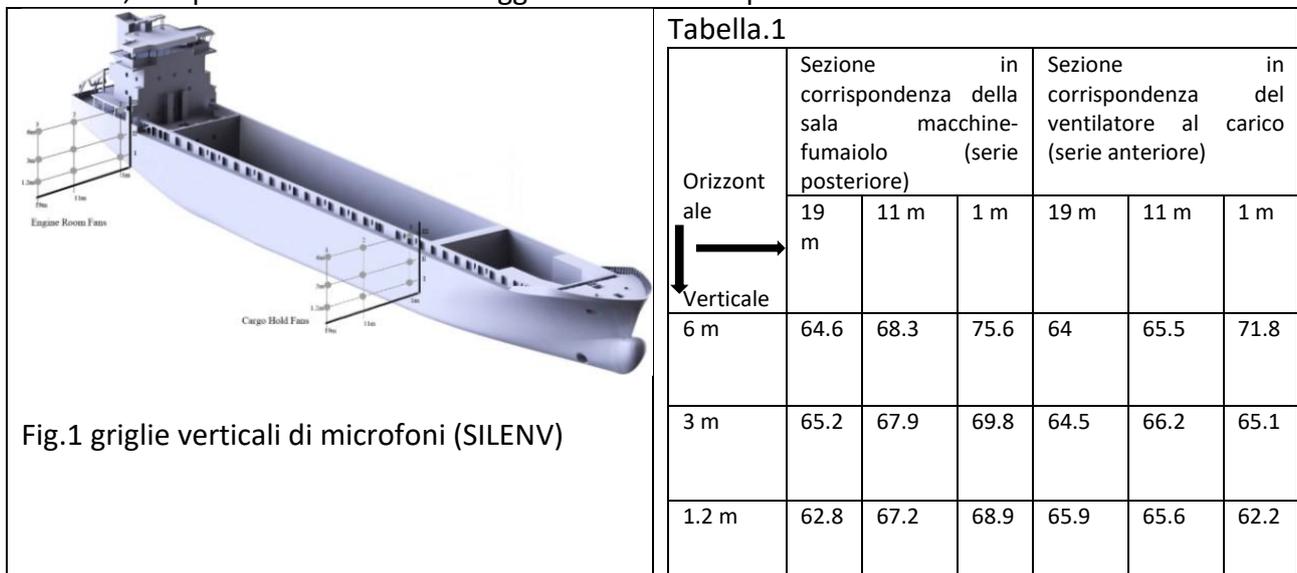


### Griglie di microfoni

Questa procedura di misurazione simultanea è efficace per caratterizzare le emissioni acustiche delle navi (sorgente sonora) in diverse posizioni spaziali. Il setup di misura è costituito da una o più serie di microfoni posizionati linearmente sotto forma di griglie in una località spaziale ben definita. I punti microfonici devono essere posizionati ad una distanza fissa dalla sorgente, con tolleranze ridotte, in modo da effettuare un confronto diretto tra i livelli di origine, senza la necessità di applicare un modello di propagazione. Fra diversi progetti che si sono avvalsi di questa configurazione se ne prende in esame una selezione dei più recenti.

Il progetto SILENV [4] che aveva tra i suoi obiettivi quelli di identificare, quantificare il rumore generato dalla nave in quattro condizioni operative (nave in movimento lungo la costa, nave in manovra lungo la banchina, nave ormeggiata e nave durante lo scarico/carico) e limitare l'emissione totale. Diversi approcci di misurazione sono stati condotti all'interno del progetto su navi ormeggiate. Il primo prevedeva il posizionamento di due griglie di microfoni verticali perpendicolari al piano di simmetria della nave e poste vicino alle fonti principali (ciascuna con 9 punti, posizionati a 3 diverse altezze e 3 diverse distanze dal lato: Fig.1); ha evidenziato alcune particolarità del rumore della nave. Uno degli aspetti importanti è rappresentato dalla forte direttività verticale delle emissioni acustiche. Questo fenomeno può essere osservato nella Tabella 1. Altri dati analoghi sono disponibili dalla letteratura (Draganchev et al.[9]). Questa analisi suggerisce che le misurazioni effettuate sulla banchina a una piccola altezza dal suolo, specialmente per navi più grandi, possono cadere nella zona d'ombra generata dallo scafo e quindi registrare livelli più bassi rispetto a quelli che possono essere irradiati ad altezze maggiori dalla nave (Badino et al. [18]). Il secondo approccio prevedeva una superficie di misurazione parallelepipedica di microfono orientata in direzioni parallele al piano di simmetria della nave e normale ad essa (Fig. 2). La griglia del punto deve essere posizionata a una distanza fissa distanza di 25 m dallo scafo della nave ad una altezza di 1.2 m sopra la banchina, a 25 m dal lato della nave. I punti fra le griglie sono distanziati (d) tra loro di 10 m per le navi di lunghezza (L) superiore a 100 m e di 6 m per L inferiore a 100 m (D. Borelli et al. [6]). Dai dati raccolti con questo approccio, la propagazione nel campo sonoro misurata sembrava essere

dominata da effetti di campo vicini e / o da riflessioni (dal terreno e da altre superfici), rendendo difficile l'identificazione di procedure semplici per le perdite di trasmissione. Gli studiosi hanno rilevato che il primo approccio era migliore perché risente meno del riflesso dovuto al campo vicino della nave e del pavimento. Mentre, il secondo approccio dovrebbe tuttavia essere applicato a un gran numero di casi al fine di calibrare il valore limite e supportare l'effettiva fattibilità della procedura stessa. Inoltre, sempre all'interno del progetto SILENV, T. Gaggero et E. Rizzuto[5], hanno utilizzato queste nuove procedure che tengono conto dei requisiti già esistenti per caratterizzare le sorgenti di rumore, i loro percorsi di trasmissione e il modo in cui ciò influenza le varie categorie di ricevitori, che potrebbero essere un aggiornamento nel quadro normativo.



A. Badino et al. [7], hanno suggerito un metodo (il metodo che è stato proposto nel progetto collaborativo SILENV) per ottenere l'analisi dettagliata del rumore emesso dalle navi e da altre fonti all'interno dei porti. Il metodo è implementato in quattro fasi: definizione della categoria delle navi;

misure per caratterizzare la nave come sorgente di rumore; modellizzazione della propagazione del rumore esterno; disegno della mappatura. Ogni fase di questo metodo produce un output che alimenta il passo successivo.

- a. Categoria delle navi: hanno consigliato di classificare le navi in base all'uso e poi in base alla posizione all'interno delle aree portuali.
- b. Misure per caratterizzare la nave come sorgente di rumore:
  - Per navi ormeggiate, hanno consigliato di adattare la procedura di misurazione personalizzata, che aiuta la scelta della posizione delle misurazioni, la durata e tutti gli altri parametri per una valutazione del diritto sul campo, come suggerito nel Progetto SILENV. Per quanto riguarda la posizione, hanno distinto le misure in due tipi, misure locali e misure relative al campo sonoro; le misure locali sono definite come le misure effettuate in prossimità di specifiche fonti (prese d'aria, gru, scambiatori di calore, ecc.); le misure sul campo sonoro sono eseguite sia vicino alla nave che a una certa distanza da essa. Durante le misurazioni del campo sonoro, le posizioni del microfono sono allineate su due file (in Fig.3), una prima fila alla distanza di 1 m dallo scafo della nave e una seconda fila alla distanza di 25 m; per ogni fila sono prese in considerazione varie altezze e la distanza fra una altezza all'altra deve essere scelto in funzione della lunghezza della nave e della distribuzione delle sorgenti di rumore più significative. Con le misurazioni della prima riga è possibile calcolare il livello di potenza sonora emesso della nave, mentre le misurazioni della seconda riga consentono di convalidare il modello di propagazione del suono.
  - Per quanto riguarda le posizioni del microfono per le navi in movimento, se le condizioni ambientali non consentono una distanza maggiore o uguale a 100 m o una distanza uguale alla lunghezza della nave, sarà possibile considerare una distanza più vicina. Se le sorgenti sonore su entrambi i lati si trovano nelle stesse posizioni, le misure potrebbero essere prese solo su un lato; in caso contrario, le misure saranno prese da entrambe le parti e devono essere considerate almeno due altezze: una di 1,2 m sopra il piano della banchina e una alla stessa altezza del fumaiolo (in Fig.4). Ulteriori altezze possono essere aggiunte per navi più grandi o per migliorare la precisione.
- c. La modellizzazione della propagazione esterna del rumore delle navi ha mostrato alcuni aspetti comuni con la modellizzazione del rumore proveniente da altre fonti (strade, ferrovie, aeroporti) e alcuni aspetti specifici. Uno degli elementi chiave specifici è che, ci sono per ogni nave due condizioni operative, con differenti modelli di rumore. Pertanto, per ogni condizione deve essere effettuata una specifica modellazione separata. Per applicare il modello, è necessario conoscere diversi parametri relativi alla geometria della sorgente e dell'ambiente, alle caratteristiche della superficie del suolo e ai livelli di potenza del suono spettrale delle sorgenti.

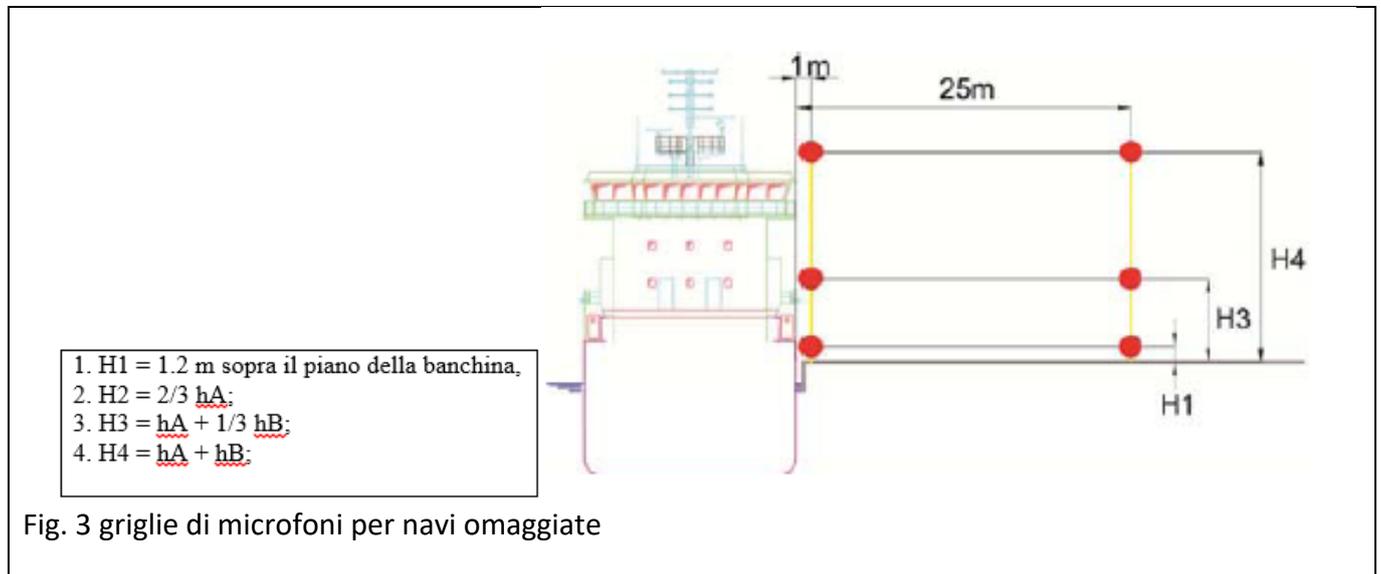


Fig. 3 griglie di microfoni per navi ormeggiate

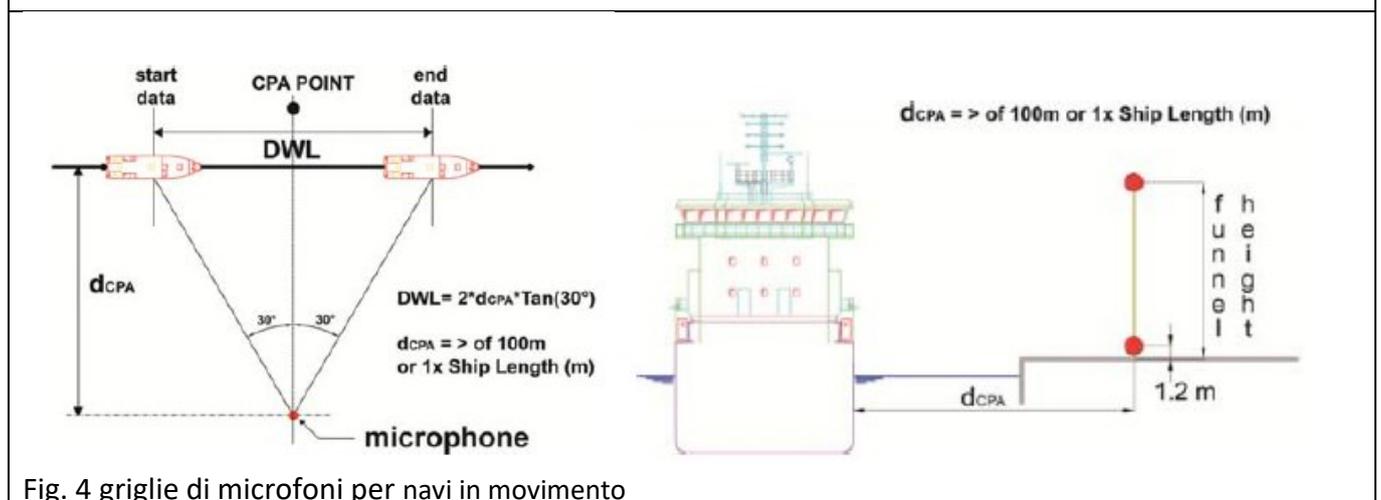


Fig. 4 griglie di microfoni per navi in movimento

D. Borelli et al. [8] hanno richiamato il contesto di una procedura di misurazione che è stata definita nell'ambito del progetto SILENV per la caratterizzazione delle navi come sorgenti di rumore e che si riferisce ad un'applicazione sperimentale di questa procedura a una nave ormeggiata presso una banchina. Le misurazioni effettuate secondo questa procedura devono essere eseguite su una griglia di punti (su ciascun lato della nave, a causa della possibile asimmetria del campo sonoro irradiato) al fine di catturare la generazione di rumore da fonti locali (sistemi di ventilazione, prese d'aria, ecc.). In particolare, sono state studiate 13 posizioni, distribuite lungo la nave spaziate di 10 m a 3 diverse altezze di 1,2 m, 17 m e 26,6 m ed a una distanza dal lato della nave di 10 m (vedi Fig. 5). Per raggiungere le posizioni all'altezza di 17 m e 26,6 m parte dei sensori è stata collocata su una gru, normalmente utilizzata per lavori di costruzione. La strumentazione utilizzata per il rilevamento è stata composta da tre fonometri IEC 61672 di classe 1, dotati di microfoni da campo di ½ pollice e calibrati con calibratori conformi alla norma IEC. Questi microfoni durante le misure verranno spostati lungo la nave secondo le posizioni già indicate mediante una gru, in quanto la gru può spostarsi parallelamente al lato della nave mantenendo una distanza costante. I risultati delle

misurazioni hanno evidenziato come i livelli aumentano quando si sposta verso l'alto (vedi Fig. 6). Tale tendenza è dovuta al forte rumore proveniente da un'altra unità ormeggiata dietro la nave presa in esame sull'altro lato del bacino (Fig. 5a). Inoltre A Badino et al. [10] hanno ripreso lo stesso concetto che prevedeva una griglia di punti orizzontali dove le posizioni dei punti sono allineate su tre file: una prima fila alla distanza di 1 m, una seconda fila alla distanza di 11 m ed una terza fila alla distanza di 19 m dallo scafo della nave, per ogni fila sono prese in considerazione un'altezza costante di 1,2 m (Fig. 7). Hanno messo in evidenza l'influenza dell'effetto "ombreggiamento" sulla propagazione del rumore da una sorgente posta a 1 m sul piano (Grid point A); da questa configurazione il livello della pressione sonora misurato nella prima fila (Grid point A) ha valore inferiore rispetto all'ultima fila (grid point C) e varia in funzione del punto di collocamento del microfono (Tabella 2).

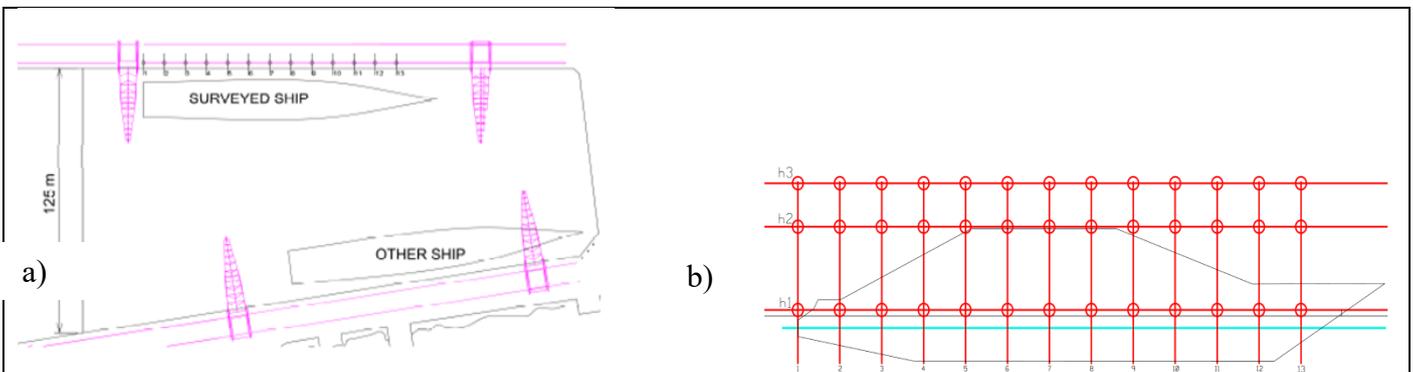


Fig. 5 griglie di microfoni per navi ormeggiate

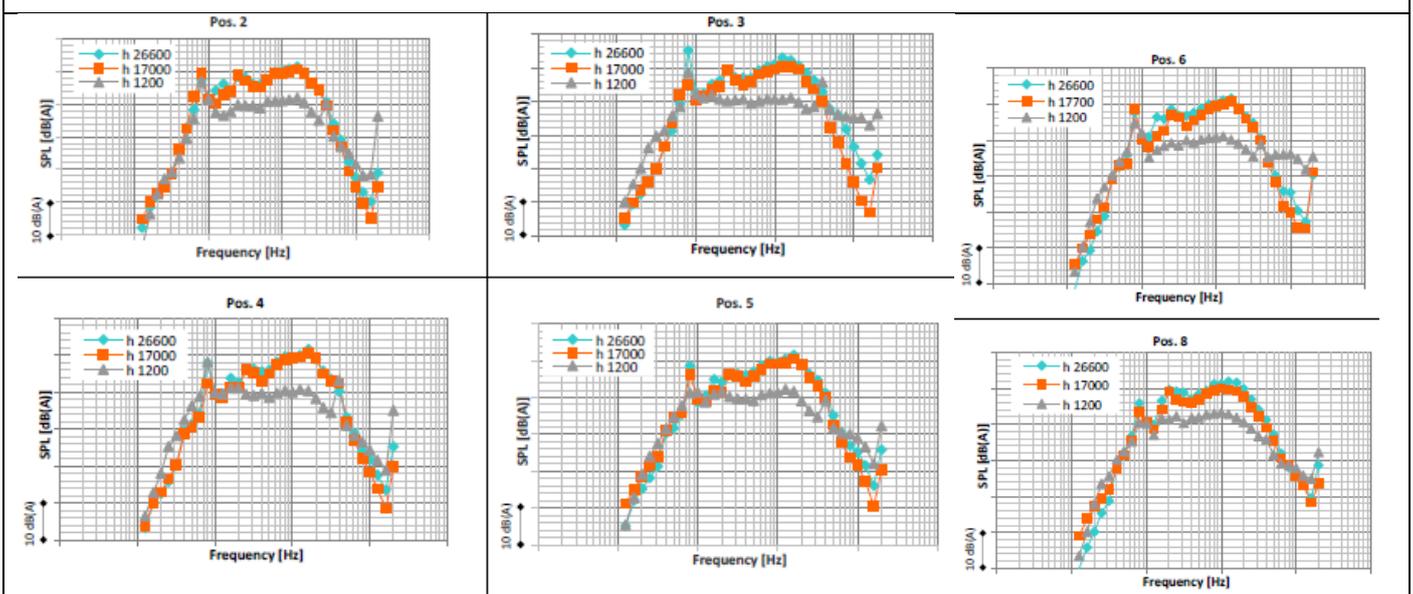


Fig. 6 Spettri ponderati A in varie posizioni longitudinali

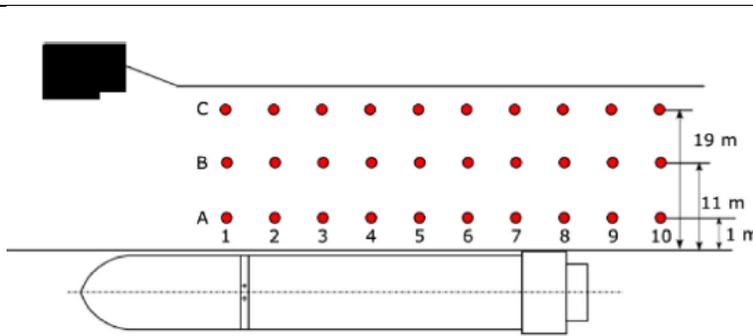


Fig.7 griglie verticali di microfoni

Tabella 2

griglia di punti	Leq(d B(A))	griglia di punti	Leq (dB(A))	griglia di punti	Leq(d B(A))
A1	55.3	B1	55.3	C1	57.9
A2	60	B2	57.3	C2	63.5
A3	59.3	B3	64.6	C3	64.9
A4	58.3	B4	65.1	C4	64.7
A5	56.4	B5	62.8	C5	63.7
A6	59.9	B6	62.4	C6	60.6
A7	67.1	B7	61.8	C7	63.2
A8	63.1	B8	64.4	C8	61.8
A9	58.1	B9	62.1	C9	61.1
A10	55.2	B10	60.1	C10	57.6

### Fotocamera acustica (array di microfoni)

La fotocamera acustica è uno strumento di misurazione relativamente recente nell'ambito dell'acustica. Questa tecnologia identifica e quantifica la sorgente sonora e fornisce un'immagine di ambiente acustico mediante l'elaborazione di segnali acustici multidimensionali ricevuti da un array di microfoni sovrapponendo l'immagine acustica (mappa acustica) all'immagine video. La sovrapposizione automatica fornisce risposte rapide sulle posizioni delle sorgenti sonore dominanti. Il principio della fotocamera acustica è basato sul calcolo del "run time delays", cioè delle emissioni acustiche del suono che si irradiano da diverse fonti ai singoli microfoni di un array.

La telecamera acustica è utilizzata sia per scenari di campo vicino che di campo lontano. Due principi di base ben noti applicati nelle fotocamere acustiche sono:

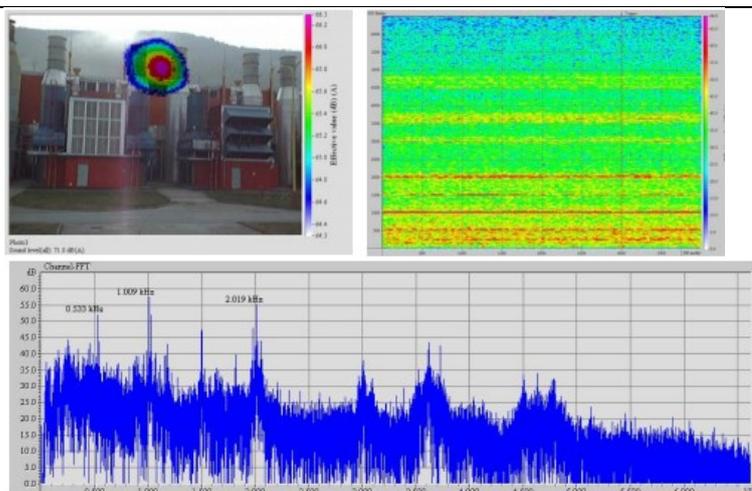
- Near-Field Acoustic Holography (NAH)
- Beamforming

*Near-Field Acoustic Holography*: è l'uso di array di microfoni planari rettangolari posti relativamente vicino alla sorgente acustica (alla distanza di alcune lunghezze d'onda della più alta frequenza nello spettro sonoro). I microfoni nell'array sono posti tra loro ad una distanza pari alla metà della lunghezza d'onda della frequenza più alta nello spettro del segnale (criteri di Niquist per il dominio spaziale). La NAH viene principalmente applicata per la gamma delle basse frequenze. La distanza tra i microfoni e le dimensioni della matrice del microfono determinano la risoluzione spaziale. La trasformata di Fourier 2D viene applicata per i segnali acquisiti con l'array di microfoni. Da questo spettro spaziale e dalla conoscenza della legge di propagazione del segnale acustico, la pressione acustica della sorgente del segnale può essere ripristinata utilizzando le funzioni Green. Tale processo è valido nell'ipotesi di propagazione di onde piane che sono paralleli al piano di misura (piano della matrice del microfono). Per localizzare una fonte in 3D, il piano di misurazione deve coprire l'intero oggetto. Nella tecnica NAH, la dimensione dell'oggetto testato deve essere più piccola della dimensione dell'array.

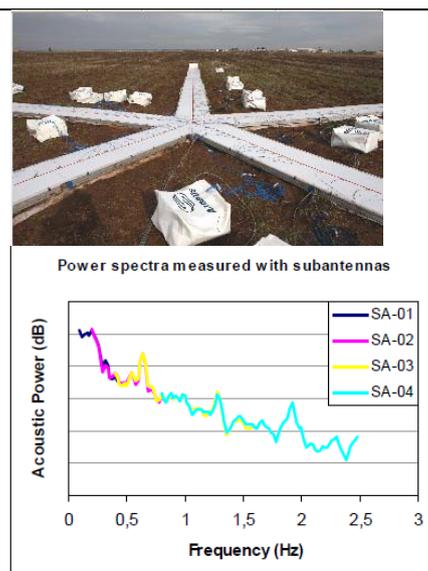
*Beamforming*: è un metodo che viene utilizzato per stimare il campo sonoro ad una certa distanza dalla sorgente. Le prestazioni del beamforming convenzionale dipendono in larga misura da un buon design della geometria dell'array di microfoni e da un buon software di post-processing. I due principali algoritmi del beamforming applicati nelle fotocamere acustiche sono: beamforming di campo lontano e di campo vicino.

Si riportano ora alcuni progetti che hanno adoperato questo strumento.

M. Filo [11] ha utilizzato un tipico esempio di fotocamera commerciale per la localizzazione e l'analisi dettagliata delle più importanti fonti di rumore industriale emesso dal turbocompressore, mostrando come la risoluzione spaziale sia in relazione diretta con la frequenza di campionamento nel dominio del tempo e la spaziatura del microfono. Le frequenze critiche registrate nel sito di misurazione sono evidenti dallo spettrogramma e la struttura dell'intero spettro di frequenza indica in maniera chiara dove sono queste frequenze critiche.

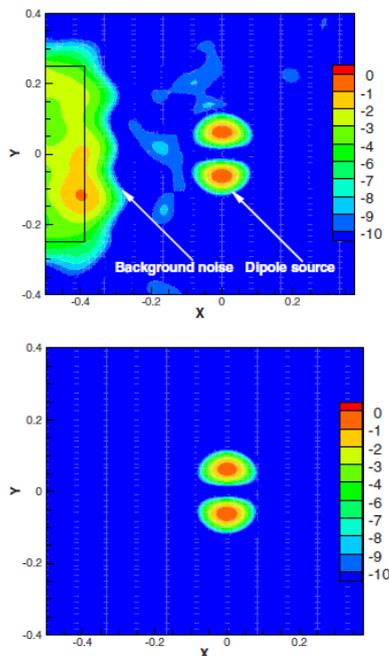


Cariou C., Delvedier O. [12] hanno presentato uno strumento realizzato da Airbus in collaborazione con EADSIW e MicrodB, per la localizzazione di rumore emesso dagli aerei durante le operazioni di decollo e atterraggio a bassa quota. Lo strumento è modulato in modo da consentire la combinazione di differenti array lineari di microfoni (vedi Figura) al fine di coprire il più ampio intervallo di frequenza con una buona prestazione in bassa frequenza. Come viene rappresentato dallo spettro di potenza di diverse sotto-antenne (da SA-01 a SA-04) si può facilmente identificare l'intervallo di frequenza



adimensionato di ogni sotto antenna.

Huang X.[13] ha presentato un algoritmo innovativo del beamforming con funzionalità in tempo reale. L'algoritmo è simile a un osservatore classico nel dominio del tempo per gli array di microfoni. Questo algoritmo permette di filtrare il rumore generato dalla sorgente principale dal rumore di fondo. Tra le sue applicazioni, è stato impiegato nella misurazione del rumore nelle gallerie di vento dove il livello di rumore di fondo è molto alto a causa dei riflessi delle pareti.



### Caratteristiche strumenti

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva delle possibili strumentazioni utilizzabili per il monitoraggio di rumore portuale evidenziando le componenti necessarie e i principali svantaggi e vantaggi.

	Fonometri	Intensimetria	Acoustic Holography:	Beam Forming
Caratteristiche	<p>Fonometro classe 1 secondo IEC 61672:2002 e classe 1 secondo IEC 60651:2001 ed IEC 60804:2000 classe 1 secondo IEC 61260:1995 tipo 1 secondo ANSI S1.4-1983 ed S1.43-1997 classe 1-D, ordine 3, Gamma Estesa secondo ANSI S1.11-1986;</p> <p>Microfono da ½" a condensatore, per campo libero, secondo la IEC 61094-4;</p> <p>Calibratore - CEI 29-14, IEC 942/1988 - Classe 1;</p> <p>Filtri per analisi in frequenza - EN 61260/1995 (IEC 1260)</p> <p>Eventuale registratore - la sola risposta in frequenza deve essere conforme alla norma EN 60651/1994;</p> <p>Alimentazione a batterie;</p>	<p>Gamma di frequenza: 50 Hz – 10 kHz usando uno spaziatore di 12 mm;</p> <p>Indicatori di qualità della misura;</p> <p>Sequenza automatica delle misure dei segmenti</p> <p>Sequenza personalizzata 'ad hoc' delle misure dei segmenti</p> <p>Mappa numerica e curve di livello dei risultati e degli indicatori di qualità;</p> <p>Esportazione al software di mappatura;</p> <p>Alimentazione a batterie;</p> <p>La sonda p-p funziona meglio per il campo vicino, mentre la sonda p-v fornisce buoni risultati anche nel campo lontano.</p>	<p>Gamma di frequenza: 30 – 2 000 Hz.</p> <p>Sensibilità, Gamma, Dinamica, Risposta in frequenza, Direzionalità del microfono;</p> <p>Funziona meglio se l'ambiente è silenzioso;</p> <p>La risoluzione migliora aumentando il numero di microfoni per a data la dimensione della rete e riducendo la distanza tra l'oggetto e l'antenna.</p> <p>Caratterizza acusticamente la direttività dell'emissione sonora,</p>	<p>Gamma di frequenza: 300 – 6 000 Hz.</p> <p>Controllo della qualità delle misure direttamente sul posto</p> <p>Funziona al meglio con una rete di dimensioni e geometria ottimizzate,</p> <p>La risoluzione migliora soprattutto aumentando la rete, aumentando il numero di microfoni e in presenza di fonti a banda larga.</p>
Componenti	<p>Microfoni;</p> <p>Preamplificatore;</p> <p>Attenuatore;</p> <p>Amplificatore;</p> <p>Filtri di ponderazione;</p> <p>Banco di filtri;</p> <p>Reti rettificatrici;</p> <p>Indicatore;</p>	<p>Analizzatore portatile con Software; Sonda intensimetrica; batterie;</p> <p>Software d'utilità per l'archiviazione, la documentazione e l'esportazione dei risultati;</p>	<p>Microfoni omnidirezionali,</p> <p>Telecamera o webcam;</p> <p>Catena di acquisizione;</p> <p>Sistema di elaborazione del segnale (DSP),</p> <p>Calibratore;</p> <p>Sistema di registrazione;</p>	

Intervento umano	Misure presidiate e non presidiate	Misure presidiate	Misure presidiate	
Componenti necessarie per centraline di monitoraggio acustico	<p>Microfoni per esterni; Box a tenuta stagna IP65 con agganci per palo; Doppio sistema di alimentazione; Sistema per la verifica della calibrazione; Sistema di trasmissione dei dati via modem; Server centrale di raccolta e memorizzazione dati; Linea telefonica dedicata; Sistema di archiviazione dati di breve periodo "in situ"; Palo per posizionamento box ad altezza pari a 4 metri fuori terra;</p>	<p>Sonda a due microfoni o un microfono e un anemometro a filo caldo; Analizzatore (piattaforma di analisi); Registrazione del segnale come opzione; Server centrale di raccolta e memorizzazione dati; Software dedicato; Sistema per la verifica della calibrazione; Analizzatore di frequenze,</p>	<p>Array di microfono; Preamplificatore; Filtri (analizzatori di spettro); Rivelatore (convertitore Rms e convertitore logaritmico); Amplificatore; Sistema di analisi temporale; Sistema di analisi frequenziale;</p>	<p>Array di microfono; Preamplificatore; Filtri; Amplificatore; Sistema di analisi temporale; Rivelatore (convertitore Rms e convertitore logaritmico); Sistema di analisi frequenziale; Algoritmo beamforming; Registrazione audio-video;</p>
Ambito in cui è stato utilizzato	Area portuale, trasporto stradale, ferroviarie, zona industriale	Zona Industriale o camera anecoica (per sorgente stazionaria di dimensione limitato)	Motori nella sala macchine, dispositivi di tipo di fonte primaria come ventilatori, ecc.	Misure esterne a grande distanza dalla sorgente fissa (Industriale), posizione delle sorgenti mobili (aereo, ferroviarie, ecc.).
Vantaggi	<p>Facilità d'uso. Facilità di lettura dello schermo ampio. Cinque gamme di misurazione. Ponderazione di tempo veloce e lenta. Ponderazione di frequenza A, C e Z. Memorizzazione fino a 32000 dati di misure.</p>	<p>Sistema portatile completo con accessori opzionali; Risultati immediati; Riscontri audio e video durante le misure; La bassa influenza dell'ambiente di misura sul risultato ottenuto; La capacità di rintracciare senza sforzo particolare</p>	<p>Campo di applicazione è più ampio di quello dell'intensimetria; Alta risoluzione in bassa frequenza. Dinamica di gran lunga superiore a quella del beamforming.</p>	<p>Metodo semplice da implementare e relativamente veloce; Può operare in condizioni difficili; Alta risoluzione ad alta frequenza; Possibilità di ottenere un video in "tempo reale" del campo sonoro.</p>

	<p>Porta seriale USB per scaricare o analizzare i dati in tempo reale.</p> <p>Segnali di output in CA e CC disponibili da una singola presa di alimentazione</p> <p>Possibilità di gestione del controllo remoto della misura senza interruzione della stessa;</p> <p>Possibilità di controllo e riprogrammazione delle centraline da centro di calcolo;</p>	<p>quelle sorgenti di rumore complicate e problematiche;</p> <p>Identifica il segnale di interesse in un campo acustico complesso;</p> <p>Gestione dati visiva che tiene traccia di misure;</p>	<p>Utilizzabile solo su sorgenti fisse;</p> <p>Possibilità di ottenere un video in "tempo reale" del campo sonoro.</p> <p>Acquisizione simultanea dei segnali di pressione</p>	<p>Utilizzabile su sorgenti fisse o in movimenti;</p> <p>Ampia gamma di applicazioni (tranne in bassa frequenza);</p> <p>Possibilità di verificare i risultati anche durante l'acquisizione dei dati,</p> <p>Può utilizzare delle distribuzioni irregolari di microfoni;</p> <p>Acquisizione simultanea dei segnali di pressione</p>
Svantaggi	<p>Ambiente in cui viene impiegato deve essere controllato;</p> <p>Accuratezza del calibratore;</p> <p>Non perfetta linearità della risposta del fonometro a diversi livelli di rumore;</p> <p>Scarti della curva di pesatura A del fonometro rispetto a quella standard;</p> <p>Risposta in frequenza non simmetrica rispetto ai vari angoli di incidenza del suono;</p> <p>Variazione della risposta del fonometro nel caso si usi un fondo scala diverso da quello di riferimento, oppure una variazione della pressione atmosferica statica, una variazione della temperatura ambiente e/o una variare dell'umidità;</p>	<p>Metodo di misurazione per punti discreti e per scansione;</p> <p>Misurazione su una superficie fittizia che racchiude la sorgente;</p> <p>Richiedono tempi di acquisizione relativamente lunghi;</p> <p>Può essere utilizzato solo su fonti sonore fisse;</p> <p>Funziona meglio se il rumore di fondo è stazionario;</p>	<p>Richiede tempi di acquisizione relativamente lunghi e può essere utilizzato solo su fonti fisse;</p> <p>Richiede un rumore di fondo più basso;</p> <p>La griglia deve normalmente avere dimensioni più grandi o uguali dell'oggetto;</p> <p>La risoluzione migliora aumentando il numero di microfoni e riducendo la distanza tra la sorgente e la</p>	<p>Non è in grado di distinguere fra suono diretto e suono riflesso;</p> <p>Bassa risoluzione a bassa frequenza;</p> <p>La risoluzione migliora aumentando il numero di microfoni;</p> <p>Per distribuzioni irregolari di microfoni, la distanza di misura tra antenna e sorgente non può essere molto più piccola dell'ampiezza dell'antenna</p>

<p>Variazione del valore misurato di Leq in caso di pressione sonora variabile nel tempo rispetto alla misura del Leq di un evento sonoro di livello costante e di uguale contenuto energetico; Possibile deriva della risposta del fonometro per misure prolungate nel tempo. Non è in grado di separare i contributi proveniente da diverse sorgenti acustiche.</p>		<p>griglia di microfoni; Richiede un numero relativamente grande di microfoni con distribuzione regolare; Ambito di applicazione relativamente limitato.</p>	
---	--	--	--

## Introduction

La mesure des niveaux sonores produits par une grande variété de sources de bruit dans les aires portuaires est devenue usuelle dans plusieurs pays depuis au moins une quinzaine d'années.

Parmi les nombreuses sources de bruit présentes dans les zones portuaires, le bateau dans son ensemble représente une source de bruit plutôt complexe. Le bateau, quand il navigue le long des côtes ou des canaux, il présente des caractéristiques assimilables à celles des sources typiques mobiles comme les véhicules routiers, trains, avions. Quand il est accosté au quai, il peut être assimilé à des sources complexes comme par exemple les installations industrielles. Son impact acoustique est triple, interne au navire, externe dans l'eau et dans l'air, ce dernier dépend des caractéristiques de l'air environnant (orographie, distribution spatiale des édifices et de la population, même les conditions météorologiques, vent, neige).

Les sources de bruit rayonnant dans l'air sont représentées par toutes ces ouvertures que en quelque sorte met en communication l'intérieur du navire avec l'extérieur. En particulier, les principales sources peuvent être identifiées dans les cheminées (échappement du moteur), les prises de ventilation du moteur et la ventilation de la charge. Le bruit émis dans l'air peut affecter la population résidant dans des zones adjacentes à la zone portuaire. Une telle configuration est typique de nombreux ports européens et en particulier de ceux qui font face sur la Méditerranée autour duquel un tissu urbain complexe s'est historiquement développé.

. Sont évalués l'état de l'art, les nouveautés des instruments, les techniques de mesure et de surveillance du bruit des ports, ou encore sont pris en considération les moyens disponibles pour caractériser la perception de la part des récepteurs dans de différents contextes, afin de caractériser les émissions de bruit et d'évaluer leur impact sur la population. L'introduction plus ou moins récente des normes et requis dans les divers secteurs est discuté et analysé afin de mettre en évidence l'évolution des préoccupations sociales concernant l'impact du bruit du navire. Malheureusement, pour le moment, il n'existe aucun outil spécifique à caractériser, évaluer et contrôler ce type de source-navale qui a les particularités suscités, pour cela on utilise les indicateurs acoustiques actuellement adoptés pour les sources mobiles et fixes.

L'activité de surveillance doit tenir compte des normes, de l'identification de la source de bruit, et de sua mesure, ensuite est nécessaire la cartographie sonore, c'est à dire mettre dans le système toutes les informations nécessaires pour une correcte contextualisation des données de pollution acoustique, dans l'espace et dans le temps, en relation aux divers facteurs de pression.

Le but de cette analyse est d'analyser les critères généraux déjà adoptés dans le passé pour les types de source différents de celles portuaires, mais n'ayant toujours pas de réglementation spécifique, afin de fournir des indications pour planifier, projeter et développer la surveillance de la pollution acoustique des activités portuaires et en améliorer la cartographie.

## LEGISLATION

La situation actuelle est brièvement mentionnée dans le tableau suivant:

LOI 26 Octobre 1995 n.447	Loi-cadre sur la pollution acoustique
---------------------------	---------------------------------------

D.P.C.M 1 Mars 1991	Limites maximales de l'exposition au bruit dans les environnements habitatifs et dans l'environnement externe
D.P.C.M 14 Novembre 1997	Détermination des valeurs limites des sources sonores
D.M 16 Mars 1998	Techniques de relèvement et de mesure de la pollution acoustique
Directive 2002/49/CE	Détermination et gestion du bruit environnemental
Directive 2003/44/EC	Evaluation du bruit émis par les embarcations de plaisir
Directive 2003/613/CE	Lignes guide relatives aux méthodes de calcul ajournés par le bruit de l'activité industrielle, des aéromobiles, du trafic de véhicules et ferroviaire et les relatives données de turbulence

### NORME EXISTENTES

L'état de l'art des cadres normatifs concernant le contexte du bruit émis dans l'air, qui comporte des aspects de la génération, transmission et perception du bruit est exposé ici :

ISO 2922:2000	Mesure du bruit dans l'air généré par des navires part navigation interne et portuaire (2001)	<p>La norme établit les conditions permettant d'obtenir des mesures reproductibles et comparables du niveau sonore et du spectre sonore générés par les navires de tous types dans les systèmes de navigation intérieure et portuaire. L'espace entre le navire soumis au test et le microphone de mesure doit être ouverte, libre des objets antibruits ou réfléchissants et le microphone doit être positionné à 3,5 ±0,5 m sur la superficie de l'eau et, s'il est monté sur une superficie solide, il doit être positionné à au moins 1,2 m sur cette superficie. Le microphone doit être positionné au trop à ±0,5 m du bord de la superficie sur laquelle elle est montée. Pour les navires accostés au quai, la distance entre la coque du navire et le microphone doit être de 25 ±2 m du même côté et aux différents points autour navires et 1 m (quand on mesure les niveaux de pression sonore à l'aspiration et à la décharge du moteur ou du système du conditionnement et du refroidissement).</p> <p>Pour les navires en mouvement, la distance entre le côté du navire et le microphone doit être de 25 ±5 m</p>
---------------	---	---

<p>ISO 3095:2013</p>	<p>Application ferroviaire-acoustique- Mesure du bruit émis par les véhicules ferroviaires</p>	<p>La norme spécifie les méthodes de mesure et les conditions permettant d'obtenir des niveaux et des spectres d'émission sonores reproductibles et comparables pour tous les types de véhicules ferroviaires ou d'autres types de voies fixes :</p> <p>Pour les véhicules stationnaires, chaque point de mesure doit se trouver à une distance de 7,5 m de l'axe du rail à une hauteur de 1,2 m au-dessus de la superficie supérieure du rail et l'axe du microphone doit être horizontale et direct perpendiculairement au contour de l'unité ;</p> <p>Pour les véhicules en mouvement, la position du microphone dépend de la vitesse du train. Si la vitesse est inférieure à 200 km/h, les microphones doivent être situées à une distance de de 7,5 m de l'axe du rail à une hauteur de 1,2 m ; alternativement si la vitesse est supérieure ou égale à 200 km/h , les microphones doivent être situées à une distance de de 25 m de l'axe du rail à une hauteur de 3,5 m.</p> <p>La mesure doit être effectué sur des deux côtés de l'unité. Si les deux sont acoustiquement identiques (c'est à dire ont une distribution symétrique de source de bruit), il est possible d'omettre les points de mesure sur un seul côté</p>
<p>ISO 3746:2010</p>	<p>Acoustique- détermination les niveaux de puissance sonore et les niveaux d'énergie sonore des sources de bruit par la mesure de la pression sonore- Méthode de contrôle avec la superficie enveloppante sur un plan réfléchissant.</p>	<p>La norme spécifie les méthodes permettant de déterminer le niveau de puissance sonore et le niveau d'énergie sonore d'une source de bruit à partir des niveaux de pression sonore mesurés sur une surface de mesure contenant ladite source dans un environnement de test présentant des caractéristiques spécifiés.</p> <p>Les positions du microphone sur la superficie hémisphérique : pour la source de bruit testée adjacente à un plan réfléchissant, les microphones doivent être situés dans les quatre positions ; pour la source de bruit testée adjacente à deux plans réfléchissants, les microphones doivent être positionnés dans les trois positions ; pour une source de bruit testée adjacente à trois surfaces</p>

		<p>réfléchissantes, les microphones doivent être positionnés dans les trois positions.</p> <p>Les positions du microphone sur la superficie de mesure à parallélépipède : le nombre et la position des microphones dépendent des dimensions de la superficie de mesure et de la distance de mesure. Si la source en épreuve émet le bruit principalement dans une direction ou si le bruit provenant d'une grande source est émis seulement par une petite partie de la source, on doit prendre en considération l'utilisation des positions extra localisées sur la superficie de mesure dans une région de haute radiation.</p>
ISO 9613-1:1993	Acoustique - atténuation sonore dans la propagation en plein air- Partie 1: Calcul de l'absorption atmosphérique	La norme spécifique une méthode analytique pour calculer l'atténuation sonore causée par l'absorption atmosphérique dans de diverses conditions météorologiques quand le son provenant de n'importe quelle source se propage dans l'atmosphère. Pour les sons à tons purs, l'atténuation causée par l'absorption atmosphérique est spécifique sous forme de coefficient d'atténuation comme fonction de quatre variables : fréquence du son, température, humidité et pression de l'air.
ISO 9613-2:	Acoustique- Atténuation sonore dans la propagation en plein air- Partie 2: Méthode générale de calcul	La norme fournit une méthode tecnico-projetuelle pour calculer l'atténuation sonore dans la propagation en plein air dans le but d'évaluer les niveaux de bruit environnant à des distances déterminées de la source. La méthode évalue le niveau de pression sonore pondéré A en conditions météorologiques favorables à la propagation par les sources d'émission sonore connues. Dans le cas des chantiers la méthode de calcul simplifié est généralement adéquate. Si les positions de mesure ne sont pas loin du chantier, le calcul peut être ultérieurement simplifié en le limitant au terme de divergence géométrique.
ISO 9614-1	Acoustique- détermination des niveaux de puissance sonore des sources de	La norme prescrit une méthode pour le mesurage de la composante de l'intensité sonore normale à une superficie de mesure choisie de sorte à renfermer la source de bruit dont on doit déterminer le niveau de

	bruit à travers la méthode intensimètre- Partie 1: Mesure par points discrets	puissance sonore pour pouvoir le calculer par bande d'octave, de tiers d'octave ou la valeur pondérée sur un numéro limité de bande.
ISO 12001:2009	Acoustique - bruit émis par les machines et par les appareils- Règles pour la rédaction et la présentation d'une procédure pour épreuve des niveaux sonores	La norme indique les requis techniques d'une procédure par épreuve de bruyance par une famille spécifique de machines et d'appareils. cela s'applique en premier lieu aux appareils et aux machines stationnaires, comprises les ustensiles portatives, ainsi que celles qui présentent des risques dus à la mobilité et au soulèvement des charges.
ISO 14509-1:2008	Unité de petites dimensions- Bruit généré dans l'air par les embarcations de plaisir à moteur- Partie 1 Procédure de mesure pour l'épreuve au passage	La norme spécifie les conditions d'obtention de résultats de mesures reproductibles et comparables du niveau de pression sonore maximal du bruit aérien généré lors du passage d'embarcations de plaisir avec moteur à coque d'une longueur maximale de 24 m. L'espace comprise entre l'embarcation soumise à l'épreuve et le microphone de mesure doit être ouvert et privé d'objets insonorisant ou réfléchissants qui puissent avoir une influence sur la mesure. Pour les embarcations de longueur inférieure à 6 m, le microphone peut être positionné à une distance de $12,5 \pm 1$ m de la source et pour longueur majeure doit être de $25 \pm 2$ m.
ISO 20906:2009	Surveillance sans surveillance du bruit des avions à proximité des aéroports	L'objectif de la norme est de décrire une méthode de reconnaissance des événements acoustiques dans un scénario acoustique complexe caractérisé par la présence de plusieurs aéronefs et d'autres sources acoustiques.
UNI 11143 .2005	Acoustique - Méthode pour l'estimation de l'impact et du climat acoustique par type de sources	La norme décrit le procédé pour estimer les niveaux de bruit prévus pour une spécifique source ou activité en définissant les applications de type prévisionnel et l'approche météorologique en fonction des diverses typologies de sources et l'environnement circonstant.

UNI 10855 .19 99	Acoustique - Mesure et évaluation de la contribution acoustique des sources singulières	La norme fournit une série d'indications finalisées à identifier les sources sonores singulières dans un contexte où l'influence des autres sources n'est pas négligeable et à évaluer le niveau de pression sonore.
UNI/TR 11326: 2009	Évaluation de l'incertitude dans les mesures et les calculs acoustiques - Partie 1: Concepts généraux	Le rapport technique fournit des lignes directrices facilement lisibles pour l'évaluation et l'expression de l'incertitude acoustique conformément à la norme UNI CEI ENV 13005. La norme introduit les règles de base pour l'évaluation et l'expression de l'incertitude des résultats de mesure, et des calculs portant particulièrement sur le domaine de l'acoustique appliquée.
NF S 31- 010:1996	Acoustique – Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement	La norme est utilisée dans le cadre de la réglementation «Bruit de voisinage ». Elle indique la méthodologie à appliquer concernant la réalisation de la mesure.
NF S 31-085	Acoustique – Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier	La norme décrit une méthode de mesurage in situ du bruit résultant du trafic routier issu d'une infrastructure de transport en conformité avec les principes de la norme NF S 31-010.

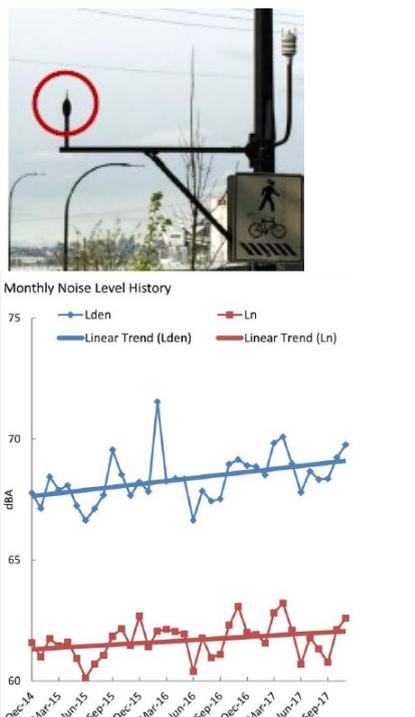
## Techniques utilisées pour la surveillance du bruit des ports

On trouvera ci-après une analyse des activités menées dans le cadre de la surveillance du bruit au port et dans les zones avec des caractéristiques similaires, en mettant l'accent sur les différents types d'instruments pouvant être utilisés et, par conséquent, sur les différentes données pouvant être obtenues.

### Sonomètres

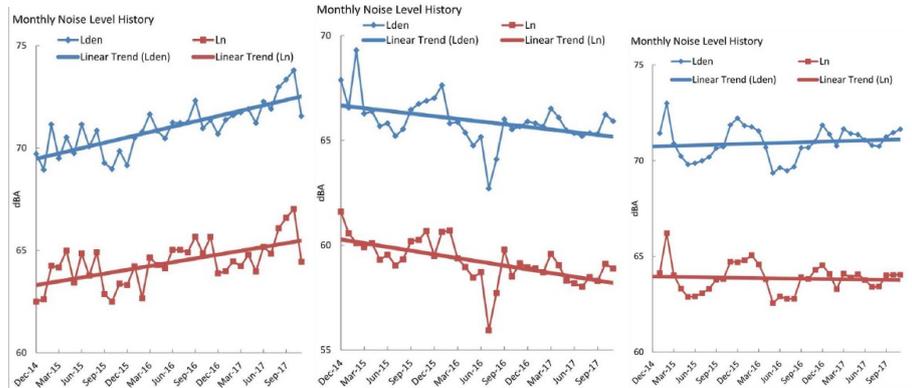
Le sonomètre est constitué de différents dispositifs : le transducteur, que, si le moyen de propagation est l'air, il s'appelle microphone ; l'amplificateur, qui sert à amplifier les niveaux sonores, en particulier les plus faibles ; le banc de filtres ; le dispositif intégrateur ; et enfin l'équipement externe, qui permet de lire les mesures directement sur l'écran et éventuellement de les stocker.

Ici, ils sont rapportés quelques projets qui ont fait usage de cet outil.

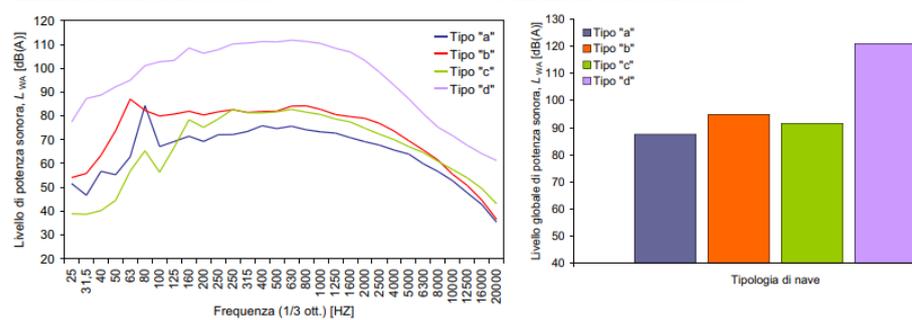
<p>L'Autorité portuaire de Vancouver Fraser [1], afin de mieux comprendre les conditions de fonctionnement et les types de bruits susceptibles de perturber les communautés locales, a mis en œuvre un programme de surveillance du bruit à long terme, qui prévoyait l'installation de terminaux de surveillance permanente du bruit pour enregistrer en continu des données audio sur la rive nord, la rive sud et Roberts Bank. Chaque terminal de surveillance est composé de : un microphone, un analyseur audio, une alimentation et un modem, tous enfermés dans un boîtier compact résistant aux intempéries et une station météo pour saisir les données sur la vitesse du vent, la direction, l'humidité, la température et les précipitations. Tous ces terminaux de surveillance sont connectés à un système de contrôle appelé Application Web Noise Sentinel où les données sont transmises en temps réel et mises à</p>	 <p><b>North Shore</b></p> <p><b>South Shore</b></p> <p><b>Roberts Bank</b></p>	 <p>Monthly Noise Level History</p> <p>75 70 65 60</p> <p>— Lden — Ln — Linear Trend (Lden) — Linear Trend (Ln)</p> <p>Dec-14 Mar-15 Jun-15 Sep-15 Dec-15 Mar-16 Jun-16 Sep-16 Dec-16 Mar-17 Jun-17 Sep-17</p> <p>dB(A)</p>
--	--	---

disposition sur le site Web de l'autorité portuaire ; ceux-ci sont utilisés pour planifier l'utilisation du territoire, afin d'évaluer les possibilités de minimiser le bruit et d'impliquer les utilisateurs portuaires. A titre d'exemple, est rapporté un résumé des données sur les niveaux de bruit (Day-Evening-Night Equivalent Sound Level) des 4 terminaux de surveillant de la rive nord enregistré entre 2014 e 2017.

La même méthodologie a été adoptée dans le cadre de l'étude acoustique concernant l'activité du port de commerce de l'île Rousse [19], en vue de la réalisation d'un plan de développement portuaire. L'étude a consisté à réaliser trois mesures de longue durée sur les axes principaux de l'île Rousse.



Di Bella et al. [2], dans le cadre du projet Eco.Port (cod.41) promu par l'autorité portuaire de Venise, avaient comme objectif la description et la caractérisation acoustiques de quatre types de navires représentatifs de la zone portuaire vénitienne. L'activité de mesure a été réalisée pendant la période d'août 2008 à avril 2009 et identifiée dans cinq zones avec un total de 93 enquêtes dont : 5 à long terme (mesure quotidienne sans contrôle), 6 de durée moyenne (poste de surveillance avec contrôle) et 82 de courte durée (source ou d'événements spécifiques qui durent moins de 45 minutes). Grâce à l'utilisation de l'outil cognitif représentés par les

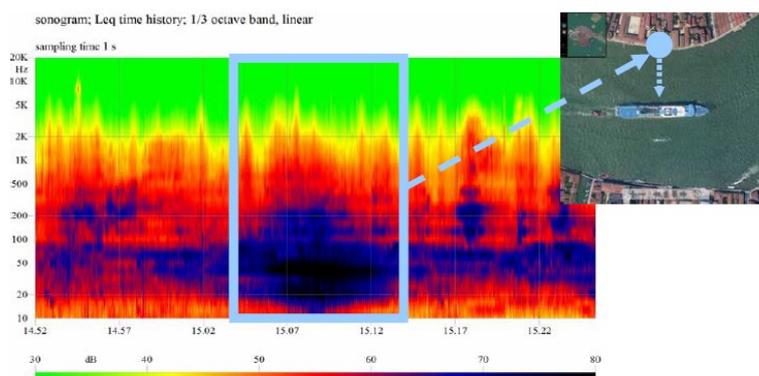


cartes acoustiques, le traitement des données et l'application des méthodologies fournies par de différentes normes techniques nationales et internationales (en particulier l'UNI 11143, UNI 10855, ISO 9613-2) ont permis de définir les valeurs du niveau de puissance sonore émis par les différents types de navires accostés aux quais du port. Telles données seront ensuite utilisées dans le modèle de calcul pour évaluer les effets induits dans les zones urbaines par la présence des différentes combinaisons de navires. En ce qui concerne les navires en transit, il a été réalisé une surveillance hebdomadaire (la position du microphone est à 6,3 m d'hauteur du sol et à 1 m de la façade d'un bâtiment appartenant au premier rideau construit le long du canal Giudecca), en définissant l'unité de contrôle de manière à enregistrer tous les principaux paramètres acoustiques à des intervalles d'une seconde. Pour l'analyse des navires en transit il a été utilisé. Pour l'analyse des transits, il a été ensuite utilisé l'histoire temporelle des spectres linéaires en tiers d'octave.



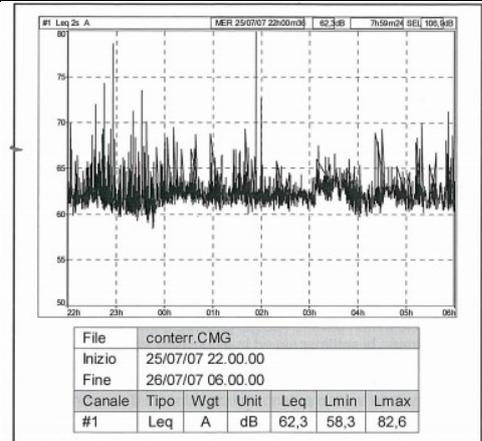
nave	direzione	SEL dB(A)
A	arrivo	87 - 90
A	partenza	89 - 90
B	arrivo	88 - 91
B	partenza	88 - 89

*Valori di SEL, arrotondati all'unità, riferiti ad una distanza sorgente-ricevitore di circa 170 m*

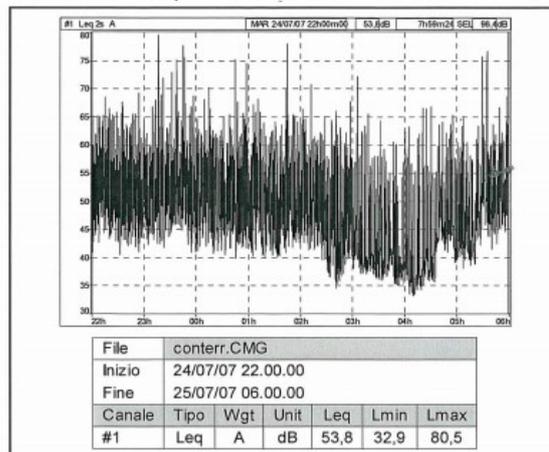


Samson S. et al. [3] ont effectué opération de surveillance pendant environ 30 jours dans la période estive, le bruit émis par le bateau-citerne qui alimente quotidiennement l'île de Lipari. Le bateau décharge l'eau en 10 heures la nuit. Les mesures ont été effectuées à partir d'une terrasse d'une maison faisant face à la zone d'amarrage.

Les données sur le bruit environnemental et les graphiques représentent les résultats obtenus en deux jours consécutifs soit en présence qu'en l'absence des bateaux, uniquement la nuit (22/06). Les caractéristiques détectées sont la constance de la perturbation et la valeur moyenne inférieure en l'absence du navire.

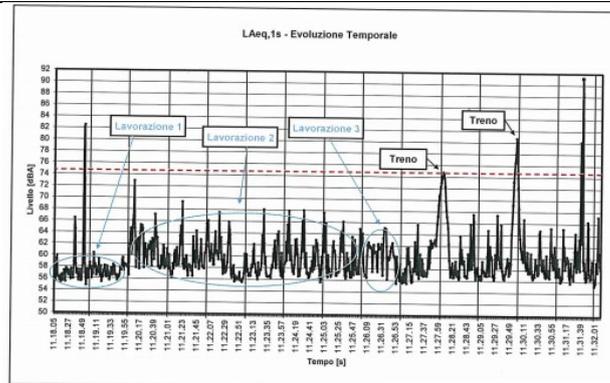


Rumore ambientale rilevato in presenza della nave in Lipari notte dal 25 al 26 Luglio 07

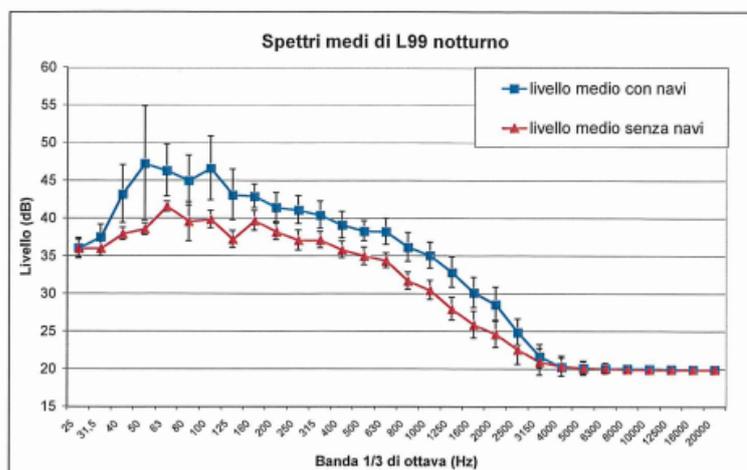
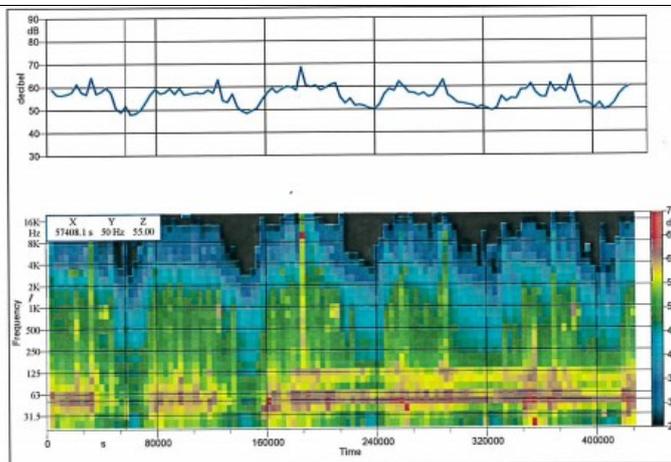


Rumore residuo rilevato in assenza della nave in Lipari notte dal 24 al 25 Luglio 07.

Conte A. et al. [14] ont effectué des mesures acoustiques dans trois zones différentes fréquentées par l'homme (zone A: installation industrielle près d'une voie ferrée; zone B: navires accostés dans une infrastructure portuaire adjacente à une zone habitée et traversée par la route urbaine principale et par une ligne ferroviaire; zone C: installation industrielle immergée dans un tissu urbain complexe et à proximité d'un tronçon d'autoroute), soit avec fréquence multi hebdomadaire, soit en temps brève (inférieure ou égale à une

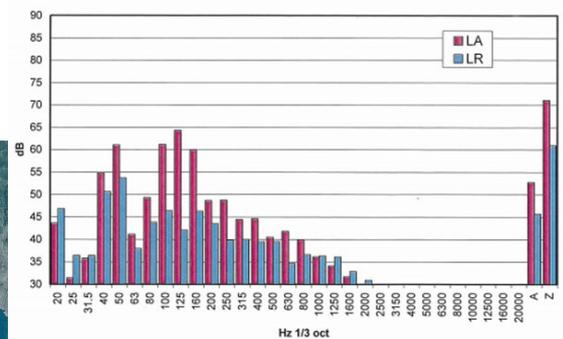


heure), utile pour décoder les résultats de la surveillance sur plusieurs jours en discriminant autant que possible la contribution sonore de la source. Pour le cas A, comme le montre la figure, les niveaux sonores ont été rapportés dans leur évolution temporelle, considérés pour une mesure, parmi celles obtenues, à titre d'exemple, en soulignant les différentes contributions (travaux et transits ferroviaires). Ensuite, les différentes contributions ont été analysées séparément. Pour le cas B, les résultats pour quelques jours de surveillance ont été rapportés sur un spectrogramme et a mis en évidence que l'effet principal des émissions portuaires peut être perçu comme l'altération des bruits de fond. En ces termes, certaines bandes de fréquences résultaient statistiquement plus importantes que d'autres. Dans la figure du spectre moyen L99 nocturne, on peut voir qu'en présence de navires au quai, le niveau qualitatif-quantitatif est beaucoup plus élevé, avec des effets plus évidents à basses fréquences et de manière sensible pour certaines bandes dans la partie médiane du spectre. Pour le cas C, il a été constaté que l'évolution est caractéristique des situations dominées par le bruit de la circulation (ici autoroute) alors que par le spectrogramme la mesure identifie également en période de jeûne la présence d'une composante stationnaire imputable à la source industrielle.



Piromalli W. [15] a rapporté la synthèse des vingt années d'expérience de l'observation de l'impact acoustique généré par les activités du port de Gênes. Plus précisément, l'étude a analysé le niveau sonore dans différentes zones de la ville en arrivant à les évaluations suivantes : dans les zones portuaires, le LAeq ne dépasse pas 80 dBA, près du périmètre du port, le bruit perceptible est dû à l'infrastructure routière et dépasse 70 dBA (à l'exception de deux positions sur le périmètre de 10 km). Enfin, dans les zones en amont, distantes de 0,5 km en ligne droite des quais du port, le LAeq est de l'ordre de 50 à 55 dBA, donc les sources de la zone portuaire sont remarquables. comme exemple, il a été reporté un spectre qui compare deux LAeq (bruit environnemental et bruit résiduel) relevés à l'intérieur d'une maison à fenêtre ouverte dans la région de Carignano, influencés par les réparations navales effectuées pendant la nuit.

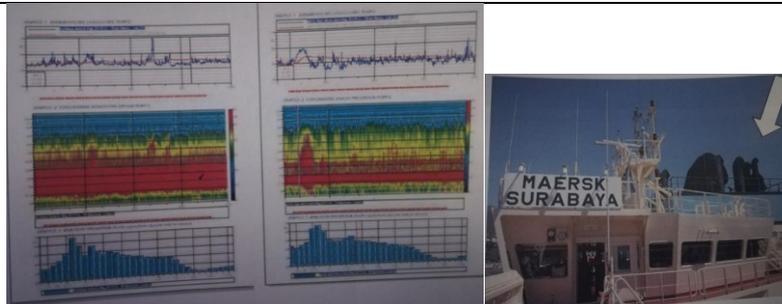
La même méthodologie a été adoptée par le Port Autonome de la Guadeloupe pour diagnostiquer les ambiances sonores de l'état existant autour du projet du Grand Port [19], réalisant des mesures de bruit dans 10 différentes zones près du port. Les résultats des mesures sont résumés dans le Tableau A



Points n°	Lieu	Niveau sonore JOUR max	Niveau sonore NUIT max	Zone à surveiller en acoustique	Tranches horaires sensibles où les niveaux sonores sont les plus faibles
1	Immeuble quai de Lesseps PAP	67	59	OUI	JOUR = 7/8h - 16/18h et 20/22h NUIT = 22/4h
2	Immeuble Port Autonome PAP	59	53	NON	JOUR = 16/18h NUIT = 22/4h
3	Collège DE KERMADEC PAP	64	58	OUI	JOUR = variable sur 7h-17h NUIT = 22/4h
4	Gare maritime de Bergevin PAP	56	50	NON	JOUR = 9/11h et 14/16h et 20/22h NUIT = 22/6h
5	Immeubles SEMAG Rue Raspail PAP face au port	63	61 Bruit faune élevé	OUI	JOUR = variable sur 7/17 h NUIT = 22/6h
6	UAG laboratoire biologie marine Carénage PAP	58	51	OUI	JOUR = 11/16h NUIT = 5/6h
7	Capitainerie Marina res Pieds dans l'eau	60	53	OUI	JOUR = variable sur 7/17h NUIT = 22/0h
8	CWTC Jarry	61	57	NON	JOUR = 18/22h NUIT = 22/6h
9	DPJ Jarry	69	62	NON	JOUR = 17/22h NUIT = 22/6h
10	Commerce Cofrigo Distribution Jarry	65	58	NON	JOUR = 7/8 - 14/18h NUIT = 5/7 h

Tableau A

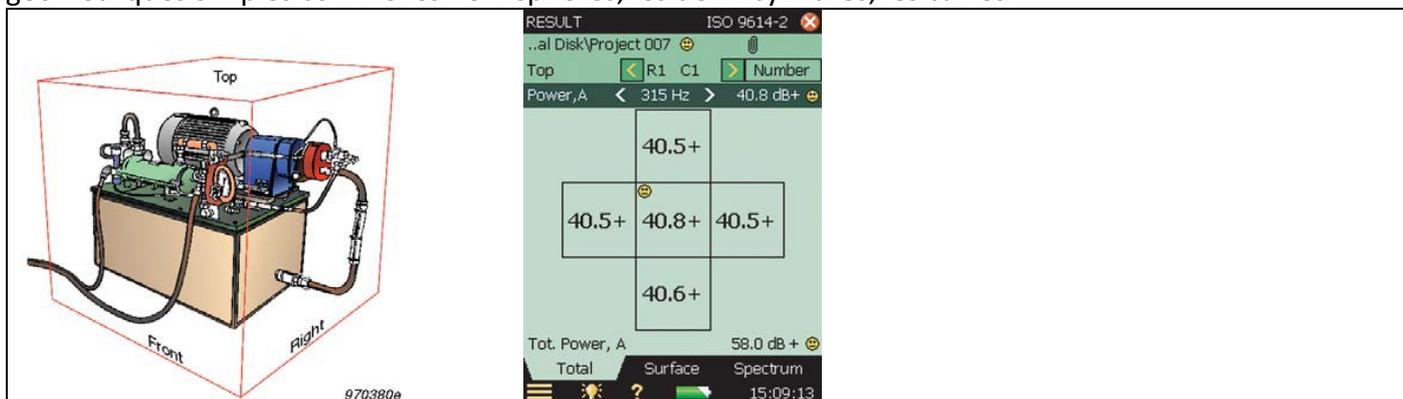
Monte P. [16] a réalisé une enquête sur le bruit généré par les navires accostés au Terminal Voltri Europa. Les mesures effectuées en particulier sur le navire "Surabaya" ont mis en évidence le bruit réel causé par le générateur identifié dans la gamme de fréquences 100-250 Hz. Avec un seul moteur en fonctionnement, un niveau de 95 dBA a été constaté à la sortie d'échappement, raisonnablement imputable au déplacement de l'air.



### Sonde Intensimétrique

En littérature, il n'y a pas des expériences de mesure de bruit du port utilisant des sondes intensimétriques. Cependant, il est jugé utile de décrire les caractéristiques de cet instrument et sa potentielle utilité.

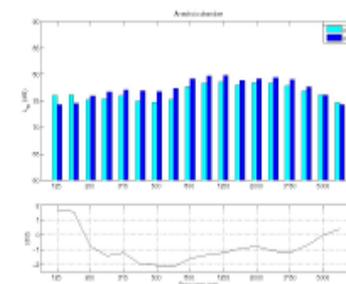
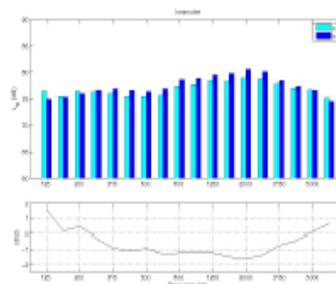
Une sonde intensimétrique est constituée de deux micros montés tête bêche et distant d'un (sonde P-P) ou constituée d'un microphone et un anémomètre à fils chaud (sonde P-V). Cet instrument permet de mesurer le niveau de l'intensité sonore qui décrit l'énergie présente dans une certaine position d'un champ acoustique, c'est-à-dire l'énergie rayonnée par une source présente dans le champ et qui peut donc être localisée, en déduisant sa position à partir d'une cartographie acoustique (source caractérisée en termes de puissance acoustique). bien que soient présents nombreux sources dans l'environnement, on peut supposer que seule la contribution de celle renfermée par la surface est significative, alors que celle externe s'annule pour effet d'intégration, si elle génère un bruit stationnaire, et que cela reste inchangé pendant le temps de mesure. Le choix de la surface d'intégration est totalement arbitraire, mais on utilise généralement des formes géométriques simples comme les hémisphères, les demi-cylindres, les carrés.



Giorgio Sacchi G. et al. [17], ont effectué des mesures de la puissance acoustique à l'aide d'une source de test à large spectre et en les conduisant dans deux zones avec des caractéristiques acoustiques très différents : le hangar de l'institut CNR Imamoter de Ferrara a fourni un exemple d'environnement réverbérant et bruyant, tandis que la chambre anéchoïque du département d'ingénierie de l'université de Ferrara a été choisi comme exemple d'un milieu contrôlé avec un faible bruit de fond. La surface de mesure d'intégration a été défini comme un cube de  $1 \pm 0,01$  m de côté, chaque face a été divisée en neuf carrés d'environ 33 cm dans les deux environnements considérés. Les mesures d'intensité ont été effectuées au centre de chacun des carrés. Les sondes p-p et p-v ont été montées de manière à ce que les respectifs centres acoustiques soient aussi proches que possible, d'environ 0,5 cm. Les résultats obtenus ont montré que la puissance totale mesurée dans les différents milieux était en bon accord. Cependant, la sous-estimation d'environ 1 dB trouvée avec la sonde p-v pourrait être due au signe d'une erreur systématique mais en tout cas entre l'incertitude de mesure.



	Capannone Imamoter	Camera anecoica
Lw p-v	89.3	89.5
Lw p-p	90.3	90.4



### Grilles de microphones

Cette procédure de mesure simultanée est efficace pour caractériser les émissions acoustiques des navires (source sonore) dans différentes positions spatiales. La configuration de mesure est constituée d'une ou plusieurs séries de microphones positionnées linéairement sous forme de grilles dans un emplacement bien défini.

Les points des microphones doivent être positionnés à une distance fixe de la source, avec des tolérances réduites, afin de permettre une comparaison directe entre les niveaux sources, sans qu'il soit nécessaire d'appliquer un modèle de propagation. Parmi plusieurs projets ayant utilisé cette configuration, une sélection des plus récents est envisagée.

Le projet SILENV [4] qui avait parmi ses objectifs celui d'identifier, de quantifier le bruit généré par le navire en quatre conditions de fonctionnement (navire en mouvement le long de la côte,

manœuvre du navire le long du quai, navire accostée et navire pendant le déchargement / chargement) et limiter l'émission totale. Plusieurs approches de mesure ont été menées dans le cadre du projet sur les navires accostés. La première prévoyait le positionnement de deux grilles de microphones verticaux perpendiculaires au plan de symétrie du navire et placées à proximité des sources principales (chacune avec 9 points, positionnées à 3 hauteurs différentes et à 3 distances différentes de la coque : Fig.1) ; il a mis en évidence certaines particularités du bruit du navire. L'un des aspects importants est la forte directivité verticale des émissions acoustiques. Ce phénomène peut être observé dans le tableau 1. D'autres données similaires sont disponibles en littérature (Draganchev et al. [9]). Cette analyse suggère que les mesures effectuées sur la plateforme à une petite hauteur au-dessus du sol, en particulier pour les grands navires, peuvent tomber dans la zone d'ombre générée par la coque et puis enregistrer des niveaux inférieurs à ceux qui peuvent être irradiés aux plus hauts sommets du navire (Badino et al. [18]). La deuxième approche prévoyait une surface de mesure parallélépipédique de microphones orienté dans des directions parallèles au plan de symétrie du navire et normale à celui-ci (Fig. 2). La grille de points doit être placée à une distance fixe de 25 m de la coque du navire à une hauteur de 1,2 m au-dessus du quai et à une distance 25 m du bord du navire. La distance (d) entre les de grilles sont de 10 m pour les navires de longueur (L) supérieure à 100 m et de 6 m pour L inférieure à 100 m (D. Borelli et al. [6]). À partir des données collectées avec cette approche, la propagation dans le champ sonore mesuré semblait être dominée par des effets de champ proche et / ou des réflexions (du sol et d'autres surfaces), rendant difficile l'identification de procédures simples pour les pertes de transmission. Les chercheurs ont trouvé que la première approche était meilleure car elle était moins affectée par la réflexion due au champ proche du navire et du sol. Alors que la deuxième approche devrait être appliquée à un grand nombre de cas afin de calibrer la valeur limite et de soutenir la faisabilité réelle de la procédure elle-même. De plus, dans le cadre du projet SILENV, T. Gaggero et E. Rizzuto [5] ont utilisé ces nouvelles procédures qui tiennent compte des normes existantes pour caractériser les sources de bruit, leurs voies de transmission et la manière dont cela influence les différentes catégories de récepteurs, ce qui pourrait constituer une mise à jour du cadre réglementaire.

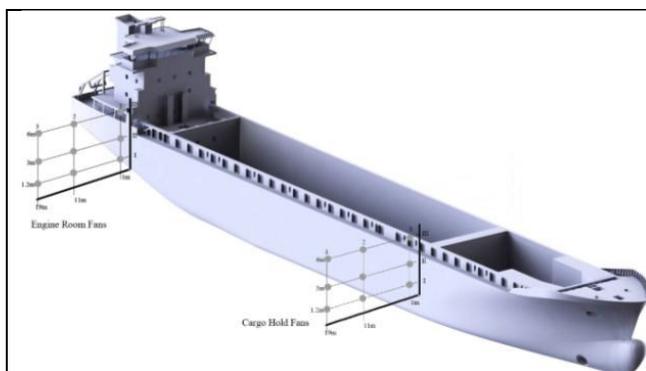


Fig.1 grilles verticales de microphones (SILENV)

Tabella.1

	Section en correspondance à la salle des machines-cheminée (série arrière)			Section en correspondance du ventilateur à charge (série avant)		
	19 m	11 m	1 m	19 m	11 m	1 m
horizontal →						
vertical ↓	64.6	68.3	75.6	64	65.5	71.8
3 m	65.2	67.9	69.8	64.5	66.2	65.1
1.2 m	62.8	67.2	68.9	65.9	65.6	62.2

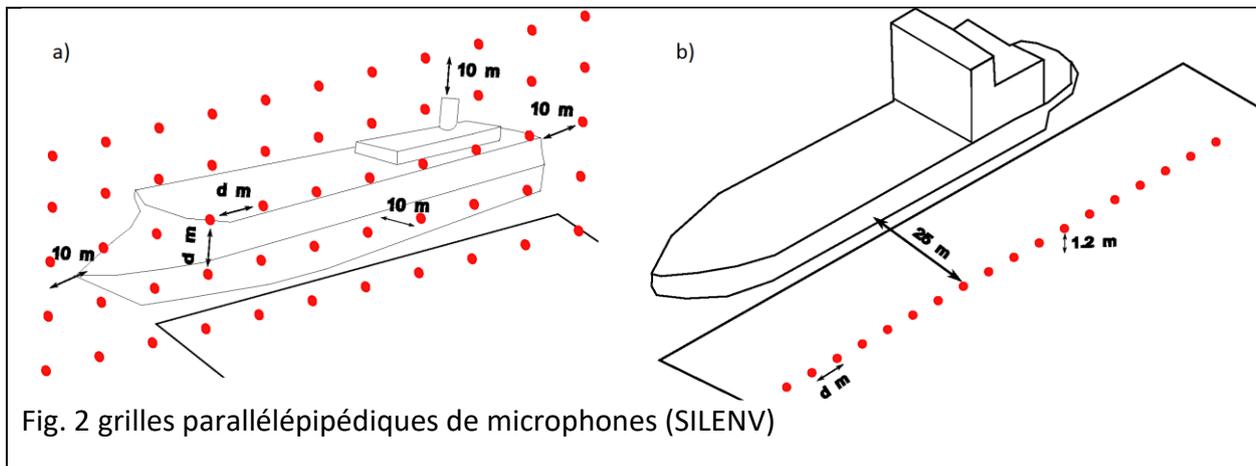


Fig. 2 grilles parallélépipédiques de microphones (SILENV)

A. Badino et al. [7] ont suggéré une méthode (méthode proposée dans le projet collaboratif SILENV) pour obtenir une analyse détaillée du bruit émis par les navires et autres sources à l'intérieur des ports. La méthode est mise en œuvre en quatre phases: définition de la catégorie des navires; mesures visant à caractériser le navire comme source de bruit; modélisation de la propagation du bruit externe ; conception de cartographie. Chaque phase de cette méthode produit un résultat qui alimente l'étape suivante.

- a. Catégorie de navires : ils ont conseillé de classer les navires en fonction de l'utilisation, puis de la position à l'intérieur des zones portuaires.
- b. Mesures pour caractériser le navire comme source de bruit:
  - Pour les navires accostés, ils ont recommandé d'adapter la procédure de mesurage personnalisée, ce qui aide à sélectionner l'emplacement des mesures, la durée et tous les autres paramètres pour une évaluation de la loi dans le domaine, comme suggéré dans le projet SILENV. En ce qui concerne la position, ils ont distingué les mesures en deux types, les mesures locales et les mesures liées au champ sonore; les mesures locales sont définies comme des mesures prises à proximité de sources spécifiques (prises d'air, grues, échangeurs de chaleur, etc.); les mesures sur le champ sonore sont effectuées à proximité du navire et à une certaine distance de celui-ci. Lors des mesures du champ sonore, les positions du microphone sont alignées sur deux rangées ( Fig.3), une première rangée à une distance de 1 m de la coque du navire et une deuxième rangée à une distance de 25 m; pour chaque rangée, différentes hauteurs sont prises en compte et la distance entre une hauteur et l'autre doit être choisie en fonction de la longueur du navire et de la répartition des sources de bruit les plus importantes. Avec les mesures de la première ligne, il est possible de calculer le niveau de puissance acoustique émis par le navire, tandis que les mesures de la deuxième ligne permettent de valider le modèle de propagation du son.
  - En ce qui concerne les positions des microphones pour les bateaux en mouvement, si les conditions environnementales ne permettent pas une distance supérieure ou égale à 100 m

ou une distance égale à la longueur du navire, une distance plus rapprochée peut être envisagée. Si les sources sonores des deux côtés du navire sont dans les mêmes positions, les mesures peuvent être effectuée d'un seul côté; sinon, les mesures seront prises des deux côtés et devront être considérées au moins deux hauteurs: une de 1,2 m au-dessus du niveau du quai et une à la même hauteur de la cheminée (Fig.4). Des hauteurs supplémentaires peuvent être ajoutées pour les plus gros navires ou pour améliorer la précision.

- c. La modélisation de la propagation du bruit externe des navires a montré des aspects communs avec la modélisation du bruit provenant d'autres sources (routes, voies ferrées, aéroports) et certains aspects spécifiques. L'un des éléments clés est qu'il existe deux conditions de fonctionnement pour chaque navire, avec différents modèles de bruit. Par conséquent, pour chaque condition doit être effectuée une spécifique modèle séparé. Pour appliquer le modèle, il est nécessaire de connaître divers paramètres liés à la géométrie de la source et de l'environnement, aux caractéristiques de la surface du sol et aux niveaux de puissance du son spectral des sources.

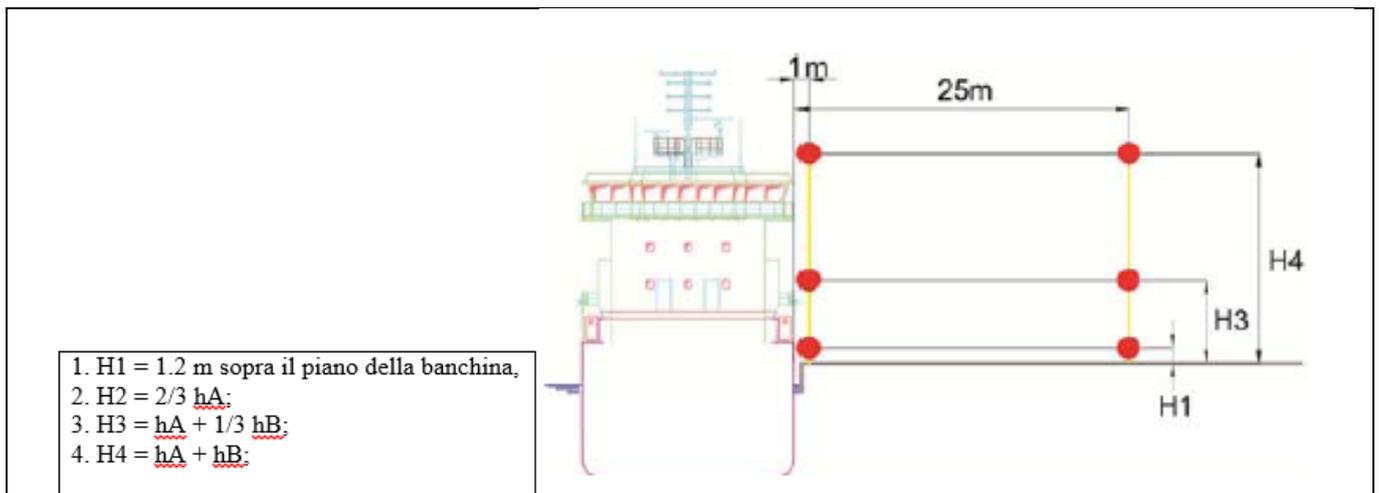


Fig. 3 grilles de microphones pour navires accostés

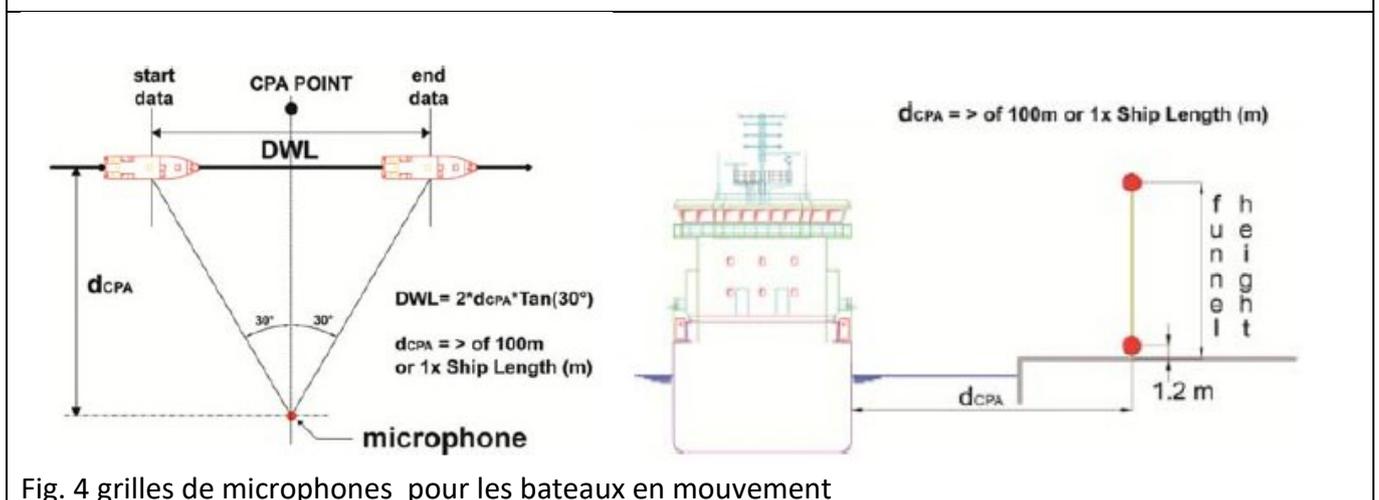


Fig. 4 grilles de microphones pour les bateaux en mouvement

D. Borelli et al. [8] ont abordé le cadre d'une procédure de mesure qui a été défini dans le projet SILENV pour la caractérisation des navires en tant que sources de bruit et qui se réfère à une application expérimentale de cette procédure à un navire accosté à un quai. Les mesures effectuées selon cette procédure doivent être effectuée sur une grille de points (un sur chaque côté du navire, en raison de l'asymétrie possible du champ sonore rayonnée) afin de capter la génération de bruit provenant de sources locales (systèmes de ventilation, les supports d'air, etc.). Ils ont étudié 13 positions, répartis le long du bateau espacés de 10 m à 3 hauteurs différentes de 1,2 m, 17 m et 26,6 m et à une distance du bord du navire de 10 m (voir Fig. 5). Pour atteindre les positions à une hauteur de 17 m et 26,6 m, une partie des capteurs était placée sur une grue, normalement utilisée pour les travaux de construction. L'appareillage utilisé pour la détection a été composé de trois sonomètres de classe IEC 61672 1, équipé de microphones extérieurs ½ pouce et calibré avec calibreurs selon IEC. Ces microphones pendant les mesures seront déplacés le long du navire en fonction des positions déjà indiquées au moyen d'une grue, étant donné que la grue peut se déplacer parallèlement du côté du navire, tout en maintenant une distance constante. Les résultats des mesures ont montré que les niveaux augmentent lors de la montée (voir Fig. 6). Cette tendance est due au bruit important provenant d'une autre unité accostée derrière le navire examiné de l'autre côté du bassin (Fig. 5a). De plus, A Badino et al. [10] ont repris le même concept qui comprend une grille de points horizontaux où les positions des points sont alignés en trois rangées : une première rangée à une distance de 1 m, une deuxième rangée à une distance de 11 m et une troisième rangée à une distance de 19 m de la coque du navire, à une hauteur constante de 1,2 m au-dessus du quai pour chaque rangée (Fig. 7). Ils ont mis en évidence l'influence de l'effet d'ombrage sur la propagation du bruit d'une source placée à 1 m (point A de la grille); à partir de cette configuration, le niveau de pression acoustique mesuré dans la première rangée (Grille Point A) a une valeur inférieure à la dernière rangée (point de grille C) et varie en fonction du point de placement de microphone (tableau 2).

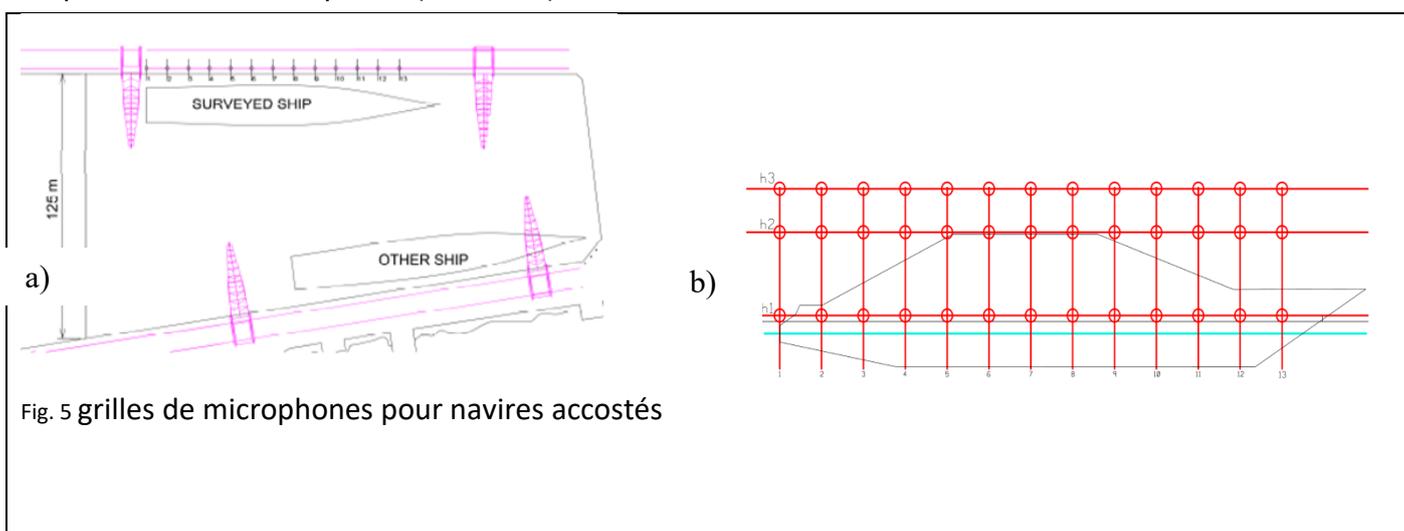


Fig. 5 grilles de microphones pour navires accostés

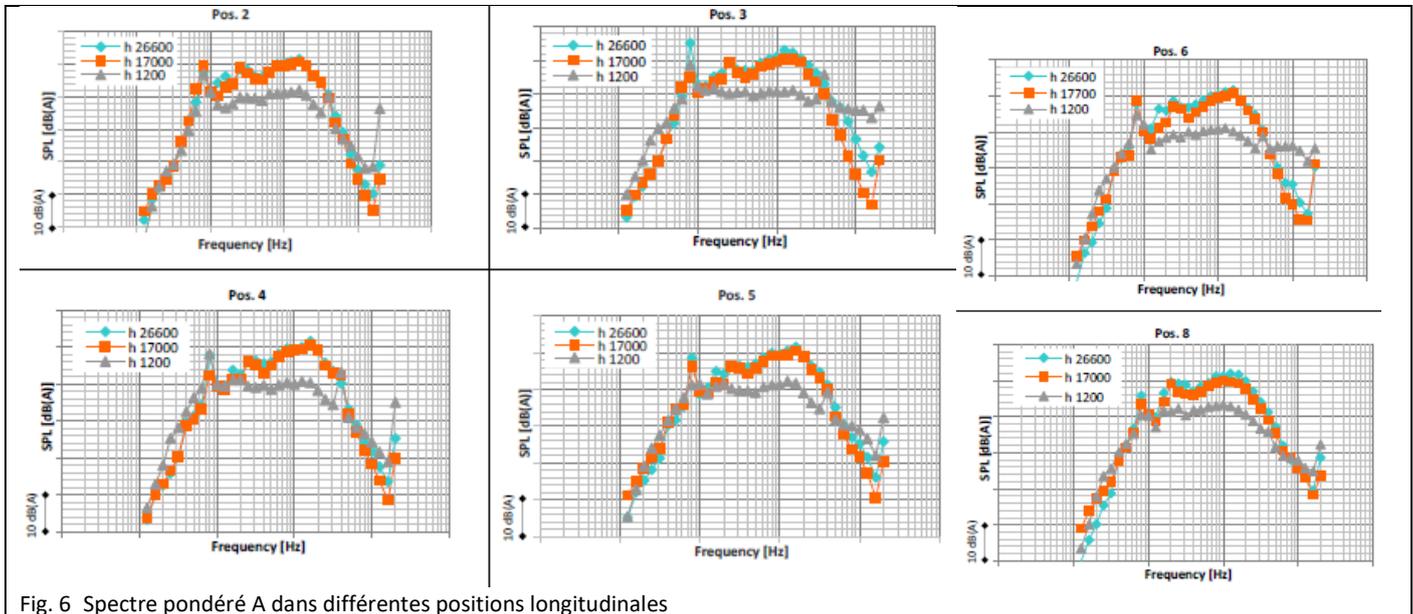


Fig. 6 Spettro ponderato A dans différentes positions longitudinales

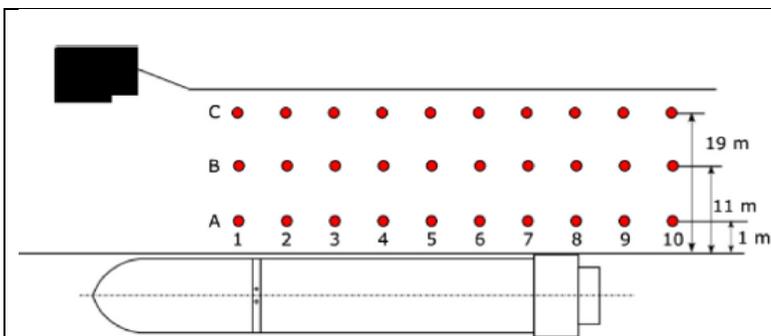


Fig.7 grilles verticales de microphones

Tabella 2

grille de points	Leq (dB(A))	grille de points	Leq (dB(A))	grille de points	Leq(dB(A))
A1	55.3	B1	55.3	C1	57.9
A2	60	B2	57.3	C2	63.5
A3	59.3	B3	64.6	C3	64.9
A4	58.3	B4	65.1	C4	64.7
A5	56.4	B5	62.8	C5	63.7
A6	59.9	B6	62.4	C6	60.6
A7	67.1	B7	61.8	C7	63.2
A8	63.1	B8	64.4	C8	61.8
A9	58.1	B9	62.1	C9	61.1
A10	55.2	B10	60.1	C10	57.6

### Fotocamera acustica (array di microfoni)

La camera acustica è un strumento di misura relativamente recente nel campo dell'acustica. Questa tecnologia identifica e quantifica la sorgente sonora e fornisce un'immagine dell'ambiente acustico attraverso l'elaborazione dei segnali acustici multidimensionali.

reçus par un réseau de microphones en superposant l'image acoustique (cartographie acoustique) à l'image vidéo. La superposition automatique fournit des réponses rapides sur les positions des sources dominantes.

Le principe de la caméra acoustique est basé sur le calcul du "run time delays", c'est-à-dire les émissions acoustiques du bruit qui rayonnent par plusieurs sources aux microphones individuels d'un réseau.

La caméra acoustique est utilisée soit pour les scénarios de champs proches et soit éloignés. Deux principes de base bien connus, appliqués dans les caméras acoustiques sont définis :

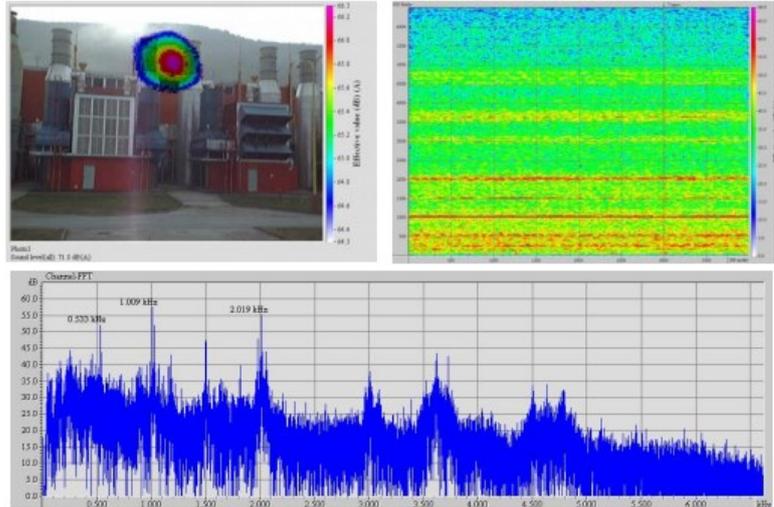
- Holographie acoustique (NAH),
- Formation de voies (beamforming),

Holographie acoustique en champ proche : est l'utilisation de réseaux de microphones plans rectangulaires placés relativement près de la source sonore (à la distance de certaines longueurs d'onde de la fréquence la plus élevée du spectre sonore). Les microphones du réseau sont placés à une distance égale à la moitié de la longueur d'onde de la fréquence la plus élevée dans le spectre du signal (critères Niquist pour le domaine spatial). NAH est principalement utilisé pour la gamme de basses fréquences. La distance entre les microphones et les dimensions du réseau de microphones détermine la résolution spatiale. La transformée de Fourier 2D est appliquée aux signaux enregistrés par le réseau de microphones. A partir de ce spectre spatial et de la connaissance de la loi de propagation du signal acoustique, la pression acoustique de la source de signal peut être restaurée à l'aide des fonctions Green. Tel processus est valable dans l'hypothèse de propagation d'ondes planes parallèles au plan de mesure (plan du réseau de microphones). Pour localiser une source en 3D, le plan de mesure doit couvrir tout l'objet. Dans la technique NAH, la dimension de l'objet testé doit être inférieure à la dimension du réseau.

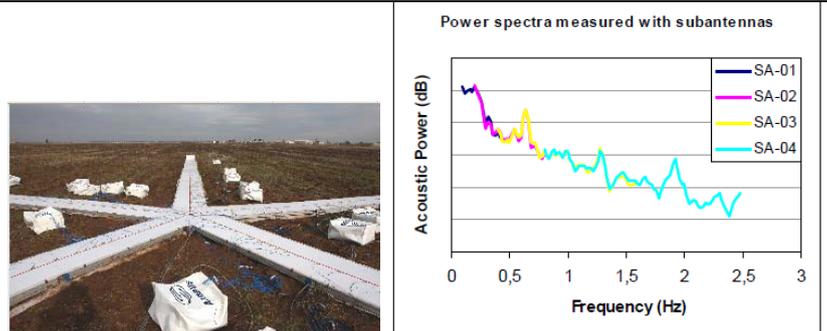
Formation de voies : est une méthode utilisée pour estimer le champ sonore à une certaine distance de la source. Les performances de la formation de voies conventionnelle dépendent largement de la bonne conception de la géométrie du réseau de microscopes et du bon logiciel de post-traitement. Les deux principaux algorithmes de formation de voies appliqués aux caméras acoustiques sont la formation de voies dans le champ lointain et le champ proche.

Ci-dessous sont exposés quelques projets utilisant cet outil.

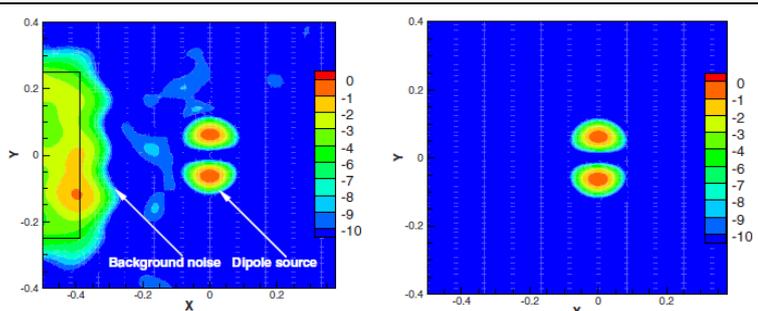
M. Filo [11] a utilizzato un exemple typique de caméra commerciale pour la localisation et l'analyse détaillée des sources de bruit industriel les plus importantes, en particulier les bruits émis par le turbocompresseur. Il a montré comme la résolution spatiale est en relation directe avec la fréquence d'échantillonnage dans le domaine du temps et l'espace des microphones. Les fréquences critiques enregistrées sur le site de mesure sont évidentes à partir du spectrogramme et la structure de l'ensemble du spectre de fréquence indique clairement où se trouvent ces fréquences critiques.



Cariou C., Delvedier O. [12] ont présenté un instrument développé par Airbus en collaboration avec EADSIW et MicrodB, pour localiser le bruit émis par les avions lors des opérations de décollage et d'atterrissage à basse altitude. L'instrument est modulé de manière à permettre la combinaison de différents réseaux linéaires de microphones (voir la figure) afin de couvrir la gamme de fréquences la plus large avec de bonnes performances aussi en basse fréquence. Comme représenté par le spectre de puissance de différentes sous-antennes (de SA-01 à SA-04), la gamme de fréquence adimensionnée de chaque sous-antenne peut être facilement identifiée.



Huang X. [13] a présenté un algorithme innovateur de la formation de voie avec une fonctionnalité en temps réel. L'algorithme est similaire à un observateur classique dans le domaine temporel pour les réseaux de microphones. Cet algorithme permet de filtrer le bruit généré par la source



principale du bruit de fond. Parmi ses applications, il a été utilisé dans la mesure du bruit dans les souffleries où le niveau de bruit de fond est très élevé en raison des reflets des murs.

### Caractéristiques de l'instrument

Ci-dessous, un tableau récapitulatif des instruments pouvant être utilisés pour surveiller le bruit des ports, en soulignant les composants nécessaires et les principaux inconvénients et avantages.

	Sonomètres	Intensimétrie	Acoustique Holographie	Formation de voies
Caractéristique	<p>Sonomètre de classe 1 selon CEI 61672: 2002 et classe 1 selon CEI 60651: 2001 et CEI 60804: 2000 classe 1 selon CEI 61260: 1995 type 1 selon ANSI S1.4-1983 et S1.43-1997 classe 1-D, ordre 3 , Plage étendue selon ANSI S1.11-1986;</p> <p>Microphone à condensateur ½ ", pour champ libre, selon IEC 61094-4;</p> <p>Calibreur - CEI 29-14, IEC 942/1988 - Classe 1;</p> <p>Filtres pour l'analyse de fréquence - EN 61260/1995 (IEC 1260)</p> <p>Enregistreur - la seule réponse en fréquence doit être conforme à la norme EN 60651/1994;</p> <p>Alimenté par batterie;</p>	<p>Gamme de fréquences : 50 Hz - 10 kHz avec un espaceur de 12 mm;</p> <p>Indicateurs de qualité de mesure ;</p> <p>Séquence automatique des mesures de segment</p> <p>Séquence a d'hoc personnalisée de mesures de segments</p> <p>Carte numérique et courbes de niveau des résultats et des indicateurs de qualité;</p> <p>Exportation vers un logiciel de cartographie;</p> <p>Alimenté par batterie</p> <p>La sonde p-p fonctionne mieux pour le champ proche, tandis que la sonde p-v fournit de bons résultats même dans le champ lointain.</p>	<p>Gamme de fréquences : 30 – 2 000 Hz ;</p> <p>Sensibilité, Gamme Dynamique, réponse en fréquence, directionnalité du microphone ;</p> <p>Fonctionne d'autant mieux si l'environnement est silencieux autour de l'objet ;</p> <p>La résolution s'améliore en augmentant le nombre de microphones pour une taille de réseau donnée et en réduisant la distance entre l'objet et l'antenne ;</p> <p>Caractérise acoustiquement la directivité de l'émission sonore,</p>	<p>Gamme de fréquences : 300 – 6 000 Hz ;</p> <p>Contrôle de la qualité des mesures directement sur site</p> <p>Fonctionne d'autant mieux avec un réseau de dimensions et de géométrie optimisées ;</p> <p>La résolution s'améliore notamment en grandissant le réseau, en augmentant le nombre de microphones, et en présence de sources large bande ;</p>

Componenti	Microphones ; préamplificateur ; atténuateur ; amplificateur ; Filtres de pondération ; Banque de filtres ; Réseaux rectifieuses ; indicateur ;	Analyseur portable avec logiciel; Sonde intimétrique ; batteries; Software d'utilité pour stockage, la documentation et l'exportation des résultats;	Microphones omnidirectionnels, Caméra ou webcam; Chaîne d'acquisition; Système de traitement du signal (DSP), calibreur système d'enregistrement	
Intervention humaine	Mesure contrôle e non controllo	Mesure controllo	Mesure controllo	
Unités de surveillance acoustique	Microphones d'extérieur; Boîtier étanche IP65 avec crochets pour poteaux; Double système d'alimentation; Système de vérification d'étalonnage; Système de transmission de données par modem; Serveur central pour la collecte et le stockage des données; Ligne téléphonique dédiée; Système de stockage de données à court terme "in situ"; Poteau pour le positionnement de la boîte à une hauteur de 4 mètres du sol;	Sonde avec deux microphones ou un microphone et un anémomètre à fil chaud; Analyseur (plate-forme d'analyse); Enregistrement du signal en option ; Serveur central pour la collecte et le stockage des données; Logiciel dédié; Système de vérification d'étalonnage; Analyseur de fréquence,	Réseau de microphones; préamplificateur; Filtres (analyseurs de spectre); Détecteur (convertisseur RMS et convertisseur logarithmique); amplificateur; Système d'analyse du temps; Système d'analyse de fréquence;	Réseau de microphones; préamplificateur; filtres; amplificateur; Système d'analyse du temps; Détecteur (convertisseur RMS et convertisseur logarithmique); Système d'analyse de fréquence; Algorithme de formation de faisceau; Enregistrement audio-vidéo;
Domaine où il a été utilizzato	Zone portuaire, transport routier, chemins de fer, zone industrielle	Zone industrielle ou chambre anéchoïque (pour source fixe de taille limitée)	Moteurs dans la salle des machines, dispositifs de type source principale	Mesures externes très éloignées de la source fixe (industrielle), position des sources mobiles (air, chemin de fer, etc.).

			tels que ventilateurs, etc.	
Avantages	<p>Facilité d'utilisation ; Facile à lire l'écran ; Cinq gammes de mesure ; Pondération temporelle rapide et lente ; Pondération fréquentielle A, C et Z ; Stockage de jusqu'à 32 000 données de mesure ; Port série USB pour télécharger ou analyser des données en temps réel ; Signaux de sortie CA et CC disponibles à partir d'une seule prise de courant ; Possibilité de gérer le contrôle à distance de la mesure sans l'interrompre; Possibilité de contrôle et de reprogrammation des unités du centre de contrôle;</p>	<p>Système portable complet avec accessoires en option; Résultats immédiats; Retour audio et vidéo pendant les mesures; La faible influence de l'environnement de mesure sur le résultat obtenu; La capacité de tracer sans effort les sources de bruit complexes et problématiques; Identifie le signal d'intérêt dans un champ acoustique complexe; Gestion visuelle des données qui garde la trace des mesures;</p>	<p>Le champ d'applications est plus large que celui de l'intensimétrie; Résolution élevée en basse fréquence ; Dynamique largement supérieure à celle de la beamforming ; Utilisable sur des sources stationnaires ; Possibilité d'obtenir une vidéo en "temps réel" du champ sonore ; Acquisition simultanée de signaux de pression ;</p>	<p>Méthode simple à mettre en œuvre et relativement rapide ; Peut fonctionner dans des conditions difficiles : par ex. en milieu bruyant et à grande distance de la source ; Possibilité d'obtenir une vidéo en "temps réel" du champ sonore ; Utilisable sur des sources stationnaires ou pas; Large champ d'applications (sauf en basse fréquence); Possibilité de vérifier les résultats même lors de l'acquisition de données, Il peut utiliser des distributions irrégulières de microphones ; Acquisition simultanée de signaux de pression</p>
Limitations	<p>L'environnement dans lequel il est utilisé doit être contrôlé ; Précision du calibrateur; Pas de linéarité parfaite de la réponse du sonomètre à différents niveaux de bruit;</p>	<p>Méthode de mesure pour les points discrets et pour le balayage; Mesure sur une surface fictive qui entoure la source; Nécessite des</p>	<p>Nécessite des temps d'acquisition relativement longs, et elle n'est utilisable que sur des sources stationnaires ;</p>	<p>N'est pas capable de distinguer les sons directs des sons réfléchis. Résolution faible à basse fréquence ;</p>

<p>Extraits de la courbe de pesée A du sonomètre comparée à l'étalon; Réponse en fréquence non symétrique par rapport aux différents angles d'incidence du son; Variation de la réponse du sonomètre en cas d'utilisation d'une pleine échelle différente de celle de référence, ou d'une variation de la pression atmosphérique statique, d'une variation de la température ambiante et / ou d'une variation de l'humidité; Variation de la valeur mesurée de Leq en cas de pression acoustique variable dans le temps par rapport à la mesure du Leq d'un événement sonore de niveau constant et du même contenu énergétique; Possible dérive de la réponse du sonomètre pour des mesures prolongées dans le temps ; Ne peut séparer les composants provenant de différentes sources acoustiques.</p>	<p>temps d'acquisition relativement longs; N'est utilisable que sur des sources stationnaires ; Fonctionne mieux si le bruit de fond est stationnaire;</p>	<p>Requiert l'environnement le plus silencieux possible autour de l'objet ; Dimensions de l'objet limitées à la taille du plan de mesure ; La résolution s'améliore en augmentant le nombre de microphones et en réduisant la distance entre la source et la grille de microphones; Nécessite un nombre relativement important de microphones avec distribution régulière; Champ d'applications relativement limité ;</p>	<p>La résolution s'améliore en augmentant le nombre de microphones; Pour les distributions de microphone irrégulières, la distance de mesure entre l'antenne et la source ne peut pas être beaucoup plus petite que l'amplitude de l'antenne ;</p>
---	--	---	--

## Bibliografia/Bibliographie

- [1] Vancouver Fraser Port Authority| Noise Monitoring Program - Information Sheet  
<https://www.portvancouver.com/port-dashboard/noise-monitoring/>
- [2] Di Bella A., Tombolato A e Cordeddu S., (2008), Caratterizzazione in situ e mappatura acustica di navi in transito e all'ormeggio nel porto di Venezia. Dipartimento di Fisica Tecnica. Università di Padova, 4 giugno
- [3] Sansone Santamaria A., "sorgente in acqua territoriali: Problematiche normative e tecniche. Caso studio di Lipari", controllo ambientale degli agenti fisici: nuove prospettive e problematiche emergenti- Vrcelli, 24-27 marzo 2009
- [4] SILENV 2012. Noise and Vibration label proposal, Deliverable 5.2 of SILENV project available from: [http://www.silenv.eu/green\\_label/D5.2\\_green\\_label\\_rev\\_2.pdf](http://www.silenv.eu/green_label/D5.2_green_label_rev_2.pdf).
- [5] Tomaso Gaggero, Enrico Rizzuto, "New Requirements for Noise Radiated from Ships: Pre-normative Formulations and Background" Proceedings of the PRADS2013, pp. 769~776 20-25 October, 2013 CECO, Changwon City, Korea
- [6] Davide Borelli, Tomaso Gaggero, Enrico Rizzuto and Corrado Schenone "Holistic control of ship noise emissions" Received Oct 30, 2015; accepted Mar 21, 2016 DOI 10.1515/noise-2016-0008
- [7] Badino, A., Borelli, D., Gaggero, T., Rizzuto, E. & Schenone, C. Analysis of airborne noise emitted from ships. In Rizzuto, E. & Guedes Soares, C. (eds.), Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources, CRC Press/Balkema, Leiden, The Netherlands, 1001-1010 (2012).
- [8] Davide Borelli, Tomaso Gaggero, Enrico Rizzuto and Corrado Schenone "Measurement of airborne noise by a ship at quay" 22nd International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2015; Florence; Italy; 12 July 2015 through 16 July 2015; Code 121474
- [9] Draganchev H, Valchev S, Pirovsky C. Experimental and theoretical research of noise emitted by merchant ships in port. In: Proceedings of the 19th international congress on sound & vibration, Vilnius, Lithuania; 8–12 July, 2012.
- [10] A Badino, D Borelli, T Gaggero, E Rizzuto, C Schenone: "Airborne noise emissions from ships: Experimental characterization of the source and propagation over land" Applied Acoustics Volume 104, March 2016, Pages 158-171
- [11] Filo, M. "Utilization of acoustical camera for objectification and evaluation of industrial noise", Technical University of Ostrava, Sbornik vedeckých prací Vysoké školy báňské (1), 2008.
- [12] Cariou C., Delvedier O., "Localizing aircraft noise sources with large scale acoustic antenna" 27th International Congress Of The Aeronautical Sciences (ICAS), 2010
- [13] Huang X., "Real-time algorithm for acoustic imaging with a microphone array", The Journal of Acoustical Society of America, Vol. 125(5), pp. 150-155, 2009
- [14] Conte A., Balzano M., Barbieri E., Stragapede F. "Studio sulla rumorosità di origine portuale sull'abitato di Genova" – 4ª Giornata di studio sull'acustica Ambientale – Arenzano, 14 ottobre 2011

- [15] Walter Piromalli “Il rumore portuale caso di Genova” Agenzia Regionale per la protezione dell’ambiente Ligure- Genova - 5ª Giornata di studio sull’acustica Ambientale – Arenzano, 19 ottobre 2012.
- [16] Paolo Monte “Indagine circa la rumorosità proveniente dalle navi ormeggiate presso il Voltri Terminal Europa”- 4ª Giornata di studio sull’acustica Ambientale – Arenzano, 14 ottobre 2011. Polizia Municipale Genova, e-mail: pmonte@comune.genova.it
- [17] Sacchi G., Carletti E., Stanzial D., "Misura della potenza acustica di una sorgente con sonde intensimetriche P-V", Associazione Italiana di Acustica, 38° Convegno Nazionale, Rimini, 08-10 giugno 2011
- [18] Badino, A., Borelli, D., Gaggero, T., Rizzuto, E. & Schenone, C. (2012) ‘Modelling the Outdoor Noise Propagation for Different Ship Types’, 17th NAV Intern. Conf. on Ships and Shipping Research, Naples Oct. 2012, p. 1-11, ISBN/ISSN: 9788890439421
- [19] M. Perfettin Christophe, M. Allegrini Jean Stéphane, “ETUDE Acoustique sur le Port de Commerce de l’Île-Rousse”. Chambre de Commerce et d’Industrie Territoriale de Bastia Haute Corse
- [20] Port autonome de la Guadeloupe “Etude acoustique et vibratoire – etat initial preparation du debat pubic”. <http://cpdp.debatpublic.fr>