



ANPA

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

**LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE DI RETI DI
MONITORAGGIO E PER IL DISEGNO DI STAZIONI DI
RILEVAMENTO RELATIVAMENTE
ALL'INQUINAMENTO ACUSTICO**

RTI CTN_AGF 3/2001

ANPA
Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi

**Linee guida per la progettazione di reti di monitoraggio e
per il disegno di stazioni di rilevamento relativamente
all'inquinamento acustico**

Autori
A. Poggi (ARPA Toscana)

Co-autori
C. Fagotti (ARPA Toscana), D. Casini (ARPA Toscana), T. Manciocchi (ARPA Toscana),
T. Gabrieli (ARPA Veneto)

Responsabile di progetto ANPA
Maria Belli, Salvatore Curcuruto



Responsabile CTN_AGF
Pierluigi Mozzo

Informazioni legali

L'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

Informazioni aggiuntive sull'argomento sono disponibili nel sito Internet (<http://www.sinanet.anpa.it>)

Il presente documento, in quanto rapporto tecnico interno relativo a strumenti operativi (linee guida / manuali), è destinato al sistema ANPA – ARPA – APPA al fine di consentire l'acquisizione di elementi utili a redigere il documento nella forma definitiva.

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Stampato in Italia

Stampato su carta ecologica

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi
Via Vitaliano Brancati, 48
00144 Roma

Centro Tematico Nazionale – Agenti Fisici

c/o ARPA Veneto

RINGRAZIAMENTI

L'autore si è avvalso della collaborazione di un gruppo di consultazione, a cui va il merito di aver portato contributi significativi per migliorare la completezza e la chiarezza di questa guida. Ne hanno fatto parte:

Andrea Franchini
Anna Callegari
Cesare Fagotti
Daniele Bertoni
David Casini
Franco Andolfato
Franco Cotana
Giovanni Agnesod
Giovanni Brambilla
Luca Menini
Mara Cammarota
Matteo Raffaelli
Maurizio Poli
Paolo Simonetti
Roberto Sogni
Salvatore Curcuruto
Walter Piromalli

Un ringraziamento particolare va a Giovanni Brambilla per il contributo riportato nelle due appendici; a David Casini e Thomas Manciocchi per il lavoro di editing.

INDICE

RINGRAZIAMENTI	I
INDICE	
1. SCOPO, DESTINATARI E STRUTTURA DELLE LINEE GUIDA	1
1.1 Finalità	1
1.2 Destinatari	1
2. CRITERI PER LA RACCOLTA DEI DATI AI FINI DELLA MAPPATURA ACUSTICA	2
2.1 Cos'è la mappatura.....	2
2.2 Descrittori da utilizzare.....	3
2.2.1 <i>Descrittori diversi dal LAeq e correzioni</i>	5
2.2.2 <i>Uso di descrittori per specifica sorgente</i>	6
2.3 Ruolo delle misure nella mappatura e strategie di raccolta dei dati.....	6
2.4 Localizzazione delle postazioni	8
2.4.1 <i>Posizionamento del microfono</i>	8
2.5 Durata e frequenza delle misure.....	10
2.5.1 <i>La variabilità casuale</i>	10
2.5.2 <i>Variabilità deterministica di medio periodo</i>	11
2.5.3 <i>Variabilità stagionale e frequenza delle misure</i>	12
<i>Variabilità stagionale della sorgente</i>	12
<i>Influenza delle condizioni meteorologiche</i>	13
<i>Frequenza delle misure</i>	13
2.6 Individuazione di sorgenti interferenti	14
2.7 Procedure di calibrazione e gestione dati	15
2.7.1 <i>Procedura di calibrazione</i>	15
3. INDICAZIONI PER LA REALIZZAZIONE DI STAZIONI DI MONITORAGGIO COSTITUTIVE DELLE RETI DI RACCOLTA DATI SULL'INQUINAMENTO ACUSTICO	17
3.1 Analisi delle caratteristiche minime della strumentazione in funzione degli obiettivi della misura	17

3.2	Possibili configurazioni di stazione	18
3.2.1	<i>Stazione tipo 1- "scatola"</i>	17
3.2.2	<i>Stazione tipo 2- "carrello"</i>	17
3.2.3	<i>Scelta dello châssis e dei materiali</i>	18
3.3	Scelta della strumentazione.....	20
3.4	Accorgimenti pratici	21
3.4.1	<i>Autonomia ed alimentazione</i>	21
3.4.2	<i>Il microfono ed il suo collegamento</i>	22
4.	CAPITOLATI DI APPALTO TIPO	23
4.1	Caratteristiche di capitolato per analizzatore di livelli sonori.....	23
4.1.1	<i>Garanzia e manutenzione</i>	24
4.2	Caratteristiche di capitolato per la fornitura di un carrello rimorchio dedicato al monitoraggio acustico	24
	BIBLIOGRAFIA	27
	APPENDICI	
	APPENDICE A: Studio sulla dipendenza del livello sonoro dal piano dell’edificio ricettore.....	29
	APPENDICE B: Studio sulla variabilità del traffico urbano	30
	APPENDICE C: Foglio elettronico Excel per l’elaborazione dei dati acquisiti da postazioni mobili di monitoraggio dell’inquinamento acustico.....	37
	APPENDICE	41

1. SCOPO, DESTINATARI E STRUTTURA DELLE LINEE GUIDA

1.1 Finalità

Le linee guida servono a:

- definire limiti e potenzialità delle diverse metodologie di raccolta dati di inquinamento acustico in relazione ai diversi scopi a cui può essere orientata una attività sistematica di monitoraggio,
- fornire indicazioni pratiche a chi si accinge ad avviare attività di monitoraggio condotte in Italia,
- indicare metodi per ottenere dati confrontabili,
- garantire che i dati necessari alla trasmissione dei *report* alla comunità europea siano ottenuti secondo metodologie di verificata affidabilità.

1.2 Destinatari

Le linee guida sono rivolte ad operatori nel settore dell'acustica ambientale che svolgono o si avviano a condurre attività di monitoraggio e che dispongono già di una specifica formazione ed esperienza sulla misura e la propagazione del suono all'aperto; non contengono quindi nozioni elementari sull'uso della strumentazione, la normativa di riferimento, gli effetti sulla propagazione del suono, delle variabili meteorologiche, le relazioni tra sorgenti e livelli sonori misurati, in quanto si ritiene facciano parte del bagaglio di conoscenze di base dei destinatari di questo documento.

2. CRITERI PER LA RACCOLTA DEI DATI AI FINI DELLA MAPPATURA ACUSTICA

2.1 Cos'è la mappatura

La misurazione dei livelli sonori prodotti da una grande varietà di sorgenti è divenuta usuale nel nostro paese da almeno una quindicina di anni. Fino ad oggi però la maggior parte della misurazioni o campagne di misurazioni condotte, hanno fornito dati relativi ad una situazione determinata nel tempo e nello spazio. In alcuni casi si sono condotte misure comparative prima e dopo l'adozione di uno specifico provvedimento, ma assai limitate sono le esperienze che hanno consentito di descrivere in maniera omogenea una vasta porzione di territorio ed ancor meno quelle che hanno consentito di descrivere l'evoluzione temporale sulla scala degli anni, di tali scenari acustici. Infatti la maggior parte delle attività di monitoraggio condotte, constatata una limitata variabilità dei livelli sul medio periodo e l'elevata variabilità spaziale, hanno avuto uno sviluppo per campagne dedicate a migliorare la risoluzione spaziale della griglia di punti di misura, assumendo implicitamente la stazionarietà del fenomeno.

L'avvio di politiche di risanamento e l'evoluzione della normativa comunitaria, richiedono uno sviluppo delle capacità di descrizione dell'andamento dei livelli di inquinamento acustico sul territorio e della loro evoluzione, in particolare:

1. la pianificazione di azioni di risanamento (Piani di risanamento comunali ex art. 7 L. 447/95; Piani pluriennali di risanamento delle infrastrutture di trasporto ex art. 3 comma 1 lettera i) e art. 10 comma 5 L. 447/95) in conseguenza della sproporzione tra gli interventi necessari e le risorse disponibili, richiedono la capacità di definire razionalmente indici di priorità che si fondano in primo luogo sulla conoscenza sistematica dei livelli di esposizione della popolazione nelle diverse localizzazioni;
2. la proposta di direttiva europea sull'inquinamento acustico (2000/0194(COD) del 26/07/2000) ha tra i suoi principali obiettivi "ottenere dati sull'esposizione al rumore sotto forma di mappe acustiche"; tali mappe fungeranno da base per i piani di risanamento a livello locale e costituiranno il punto di partenza per la fissazione di obiettivi di abbattimento a livello UE;
3. ulteriori obiettivi di tali raccolte di dati sono quelli di ottenere informazioni utili ad indagini epidemiologiche o socio-acustiche, che possano ampliare ed affinare le nostre conoscenze sugli effetti negativi dell'esposizione della popolazione al rumore.

Alla base della proposta europea c'è la convinzione, largamente condivisa, che sia necessario fornire alla popolazione una informazione facilmente leggibile, che consenta

di confrontare le diverse situazioni e giudicare le politiche di contenimento dell'inquinamento acustico che si vanno dispiegando.

A questo scopo le attività di raccolta dati che si svolgeranno devono rispondere ad alcuni requisiti:

1. riferirsi a posizioni o situazioni, dei cittadini esposti, omogenee tra loro (non ha senso ad esempio assommare insieme misure relative a posizioni interne alle abitazioni senza distinguere se le finestre erano aperte o chiuse);
2. utilizzare una metodologia che consenta il confronto dei risultati, a distanza di tempo, con quelli ottenuti successivamente con la stessa metodologia;
3. rendere semplice la descrizione del risultato dell'indagine;
4. consentire la descrizione dello stato di contesti acustici valevoli per ampie porzioni della popolazione con un ragionevole dispendio di energie ed in un tempo sufficientemente breve.

Le descrizioni dei livelli sonori che rispondono a questi requisiti sono definite mappatura acustica e richiedono l'uso di una rete di monitoraggio, intendendo con ciò una struttura per la raccolta sistematica ed organica di misure di livello sonoro che, come sarà più chiaro in seguito, non deve essere concepita come un insieme di stazioni fisse di rilevazione in continuo.

La parola mappatura non deve indurre a pensare che tale descrizione sia necessariamente da ottenersi mediante l'assegnazione di un valore definito di livello sonoro ai diversi punti nello spazio geografico. La complessità di una tale descrizione è spesso proibitiva, soprattutto nello spazio edificato, dove riflessioni e diffrazioni rendono i livelli sonori fortemente variabili nelle tre direzioni dello spazio. Per gli scopi sopra indicati sono più utili descrizioni, tabellari o cartografiche, dei livelli sonori relativi a condizioni di misura predefinite nei pressi dei ricettori individuati.

Sono quindi possibili mappe o catasti relativi ai livelli sonori:

1. in facciata delle abitazioni;
2. del lato più esposto dell'abitazione;
3. del lato quieto dell'abitazione;
4. all'interno delle stanze esposte, a finestre aperte o chiuse;
5. in spazi aperti dedicati ad attività ricreative ad una altezza definita dal suolo.

Poiché tali mappe sono finalizzate a descrivere in qualche forma l'impatto negativo di tali immissioni o il livello di qualità degli ambienti in ordine alla loro fruizione, tali livelli devono essere quantificati con i descrittori che meglio si ritiene possano essere correlati con il disturbo arrecato, con impatti definiti sulla salute, o con la compromissione della qualità di tali ambienti.

2.2 Descrittori da utilizzare

Lo stato attuale delle conoscenze sulle relazioni dose risposta tra disturbo e livelli sonori ha condotto la maggior parte dei tecnici a descrivere livelli sonori a partire dalla quantificazione del L_{Aeq} su base oraria.

In particolare l'Unione Europea si sta orientando ad adottare due descrittori principali orientati a descrivere le cause dei due effetti meglio conosciuti dell'inquinamento acustico sulla popolazione, rispettivamente il fastidio ed il disturbo del sonno:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \cdot \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) dB(A)$$

dove:

1. L_{day} è il livello sonoro continuo a lungo termine ponderato A come definito nella ISO 1996-2:1987 determinato su tutti i periodi diurni di un anno;
2. $L_{evening}$ è il livello sonoro continuo a lungo termine ponderato A come definito nella ISO 1996-2:1987 determinato su tutti i periodi serali di un anno;
3. L_{night} è il livello sonoro continuo a lungo termine ponderato A come definito nella ISO 1996-2:1987 determinato su tutti i periodi notturni di un anno.

La durata del giorno è di 12 ore, della sera di 4 ore e della notte di 8 ore¹ e la definizione di anno è la stessa di L_{den} .

L'attuale normativa italiana prevede invece limiti riferiti a tre indicatori che potrebbero trovare impiego anche nelle attività di monitoraggio:

$$L_{Aeqdiurno} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{Trd} \cdot \int_0^{Trd} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right] dB(A)$$

dove Trd = tempo di riferimento diurno dalle 06.00 alle 22.00;

$$L_{Aeqnotturno} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{Trn} \cdot \int_0^{Trn} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right] dB(A)$$

dove Trn = tempo di riferimento notturno dalle 22.00 alle 06.00²;

$$L_{VA} = 10 \times \log \left[\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N 10^{\frac{L_{VAj}}{10}} \right] dB(A)$$

dove N è il numero dei giorni del periodo di osservazione del fenomeno e L_{VAj} è il livello giornaliero di valutazione del rumore aeroportuale:

$$L_{VAj} = 10 \cdot \log \left[\frac{17}{24} \cdot 10^{\frac{L_{VAd}}{10}} + \frac{7}{24} \cdot 10^{\frac{L_{VAn}}{10}} \right] dB(A)$$

dove L_{VAd} e L_{VAn} sono rispettivamente il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo diurno (06.00 – 23.00) e notturno (23.00 – 06.00):

$$L_{VAd} = \left[10 \cdot \log \left(\frac{1}{T_d} \cdot \sum_{i=1}^{Nd} 10^{\frac{SEL_i}{10}} \right) \right] dB(A)$$

dove $T_d = 61.200$ s è la durata del periodo diurno, N_d è il numero totale dei movimenti degli aeromobili in detto periodo e SEL_i è il livello dell' i -esimo evento sonoro associato al singolo movimento.

¹ l'inizio del giorno, e di conseguenza della sera e della notte, sarà scelto dagli Stati Membri; i valori di default sono rispettivamente 07:00-19:00; 19:00-23:00; 23:00-07:00.

² Il DM 16.3.98 all'allegato C par. 2, metodologia di misura del rumore stradale, prevede che il monitoraggio deve essere eseguito per un tempo di misura non inferiore ad una settimana e che dai singoli dati di livello continuo orario equivalente ponderati A si calcolino: a) i L_{eq} diurni e notturni per ogni giorno della settimana, b) i valori medi settimanali diurni e notturni

$$L_{VAn} = \left[10 \cdot \log \left(\frac{1}{T_n} \cdot \sum_{i=1}^{Nn} 10^{\frac{SEL_i}{10}} \right) + 10 \right] dB(A)$$

dove $T_n = 25.200$ s, Nn è il numero dei movimenti nel periodo notturno e infine SEL_i è il livello dell' i -esimo evento sonoro associato al singolo movimento:

$$SEL_i = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T_0} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_{Ai}^2(t)}{P_0^2} dt \right] = \left(LAeq_{Ti} + 10 \cdot \log \frac{T_1}{T_0} \right) dB(A)$$

dove $T_0 = 1$ s, t_1 e t_2 sono gli istanti iniziale e finale della misura tra i quali il livello LA risulta superiore alla soglia $LAF_{max} - 10dB(A)$ mentre $T_1 = t_2 - t_1$.

Tutti questi descrittori possono essere ricavati agevolmente da una quantificazione del $LAeq$ orario nell'arco delle 24 ore, pertanto l'andamento orario giornaliero medio dovrebbe essere il dato fondamentale da ricavare dall'attività di una rete di monitoraggio così da consentire di volta in volta di elaborare i descrittori più opportuni.

La normativa italiana prevede che tali descrittori siano utilizzati per definire sia limiti riferiti al livello sonoro di una specifica sorgente sia riferiti al livello complessivo dell'insieme delle sorgenti; la proposta di direttiva europea specifica che la quantificazione dei livelli sonori deve essere distinta per tipologia di sorgente. L'evoluzione degli approcci normativi e le considerazioni che saranno fatte più avanti sulle relazioni dose-risposta richiedono che l'attività di monitoraggio produca dati distinti per sorgente, fornendo mappe specifiche almeno per quanto riguarda il traffico veicolare, il rumore industriale, quello ferroviario, il sorvolo aereo.

2.2.1 Descrittori diversi dal $LAeq$ e correzioni

I ricercatori sono unanimi nel ritenere che il $LAeq$ dei diversi rumori non possa spiegare interamente la variabilità di reazioni che questi determinano e che una parte degli effetti sia correlata con le caratteristiche di variabilità temporale dei livelli sonori e con il dettaglio della loro composizione in frequenza. Al momento non sono stati definiti parametri universalmente riconosciuti per tener conto di questi effetti ma da molti anni si è posta attenzione sulla possibilità che il carattere impulsivo del rumore può essere una aggravante nel determinare effetti negativi, così come la presenza di "toni puri" nella composizione spettrale di cui si possa tener conto ad esempio con penalizzazioni additive sui livelli sonori misurati (vedi ISO 1996-2 AMENDMENT 1 1998). Per quanto riguarda il disturbo del sonno si fa riferimento, nella ricerca scientifica, a descrittori dei livelli sonori massimi presenti nell'ambiente (Berglund, 1999; Callegari, 2000). Sarebbe pertanto opportuno che una rete di monitoraggio riuscisse a render conto anche di queste caratteristiche quando presenti. Tuttavia ad oggi non esistono criteri univoci per identificare l'impulsività dei rumori o la presenza di componenti tonali in essi. La raccolta di moli ingenti di dati relative all'andamento nel tempo del livello sonoro, con elevata risoluzione temporale, o alle sue caratteristiche spettrali nei diversi intervalli di tempo rischia di essere un inutile appesantimento se non è orientata ad elaborazioni predefinite di indicatori di validità riconosciuta. Per quanto riguarda la caratterizzazione spettrale della tipologia di sorgente sotto indagine può essere più

opportuno, se necessario, procedere con alcune determinazioni specifiche in alcuni punti senza appesantire, con questo tipo di indagine, tutta la rete.

2.2.2 *Uso di descrittori per specifica sorgente*

Nella maggior parte dei casi indicazioni più precise sulla relazione dose disturbo possono invece essere ottenute se si specifica il tipo di sorgente prevalente della rumorosità: nel caso delle infrastrutture di trasporto sono note le relazioni dose-fastidio quando la rumorosità sia prevalentemente attribuibile ad una tipologia di sorgente tra traffico veicolare, treni, sorvolo di aerei (Miedema 1998). È pertanto importante che la rete di monitoraggio sia in grado di operare una determinazione selettiva dei contributi delle sorgenti sotto indagine.

La separazione dei contributi specifici alla rumorosità ambientale del rumore aereo o ferroviario viene effettuata registrando separatamente la rumorosità del singolo evento sonoro determinato dal transito del treno o dal sorvolo. In questi casi il dato acustico di base è il SEL di ciascun evento, registrato congiuntamente con data ed ora dell'evento, sulla base del quale si ottengono dati di *L_{Aeq}* orari di specifica sorgente e da questi gli indicatori su basi temporali più aggregate.

In altri casi la determinazione del contributo della singola sorgente è meno immediata, ma può comunque essere quantificato con strategie di misura orientate a questo scopo. Ad esempio è possibile descrivere la rumorosità determinata da una specifica tipologia di rumore mediante misure in posizioni nelle quali la sorgente sotto indagine sia prevalente, abbinate a valutazioni che consentano di calcolare i corrispondenti valori di rumorosità nei punti di interesse: a titolo di esempio, una modalità tra le diverse con le quali è possibile applicare questa tecnica, è quella che è stata adottata nel DM 16/3/1998, allegato C, relativo al rumore ferroviario, per le situazioni nelle quali il rumore residuo non consenta un'agevole discriminazione dei transiti. In altre situazioni la conoscenza della variabilità temporale del rumore della sorgente sotto indagine e degli altri rumori presenti può consentire di definirne il contributo da un'analisi degli indici statistici L_n ; tali indici sono normalmente elaborati dalla strumentazione di misura senza particolari aggravii, è quindi utile predisporre la gestione dei dati raccolti per la loro archiviazione.

La definizione più complessiva delle metodologie utili per effettuare la determinazione del contributo della specifica sorgente è trattata nella norma tecnica UNI 10855/99. In ogni caso si tratta però di metodologie non universali, che vanno adattate alla specifica situazione con un'analisi della loro efficacia e precisione che necessita di essere descritta e validata caso per caso.

2.3 *Ruolo delle misure nella mappatura e strategie di raccolta dei dati*

Come già indicato nel paragrafo 2.1, le misure di monitoraggio sono prevalentemente funzionali a descrivere su area vasta l'andamento di parametri descrittivi

dell'inquinamento acustico riferiti a posizioni standardizzate rispetto alla facciata degli edifici o delle aree fruite dalla popolazione. Molti motivi di opportunità pratica sconsigliano di perseguire una corrispondenza 1:1 tra punti di misura e posizioni descritte nella mappatura, se ne elencano alcuni per chiarezza:

1. posizioni di mappa vicine presentano valori di rumorosità poco diversi tra loro soprattutto sul medio periodo, per cui è inutilmente dispendioso (in termini di tempo e risorse) ripetere le misure per ciascuno di questi;
2. posizioni con analoga distanza ed orientamento rispetto alla sorgente possono avere, a priori, livelli simili di rumore, anche se distanti tra loro;
3. non sempre è accessibile per le misure il punto a cui il livello sonoro è riferito;
4. la necessità di esprimere livelli medi rappresentativi del "lungo periodo" può richiedere di dover mediare variazioni lente dei parametri che determinano la sorgente o che modificano le condizioni di propagazione (ad esempio le variazioni stagionali del traffico veicolare, la diversa prevalenza dei venti in alcuni periodi dell'anno, la presenza o l'assenza di manto nevoso ecc.) ciò può essere fatto meglio mediante modelli tarati.

Pertanto ogni operazione di mappatura comporta un passaggio di estrapolazione dei valori di rumorosità richiesti da quelli misurati, mediante "modelli" di assegnazione del rumore ai punti di riferimento. Questi possono essere assai semplici o più complessi a seconda del numero di variabili di cui tengono conto e della precisione che si intende raggiungere. Talvolta appaiono implicitamente sotto forma di "correzioni" dei valori misurati, per ricondurli alla situazione standard. In tutti i casi sottendono una assunzione più o meno dettagliata sulle modalità di propagazione del rumore e conseguentemente sulla distribuzione spaziale dei livelli sonori.

Citiamo ad esempio:

1. la correzione della misura per distanze dalla facciata diverse da quella nominale (Licitra, 2000);
2. la correzione della misura per diverse altezze del ricettore rispetto al piano stradale (Bertoni, 1994; vedi anche APPENDICE A);
3. l'estensione del valore misurato in un punto di una strada urbana a tutto il suo segmento (Fagotti, 1998);
4. l'applicazione di un fattore standard di riduzione dei livelli sonori per descrivere quelli interni alle abitazioni a partire dalle misure in facciata;
5. l'estensione dei valori misurati in un punto a tutte le abitazioni entro una certa distanza, o nel quartiere, nel caso di rumori provenienti da sorvoli o da sorgenti remote.

Quanto sopra evidenzia che la rete di monitoraggio assume una diversa distribuzione dei punti di misura al variare della tipologia di estrapolazioni che vengono previste. Le caratteristiche di elevata variabilità spaziale del campo sonoro nel contesto edificato, escludono che si possa pensare utilmente a reti di passo predefinito, senza porsi il problema della rappresentatività di ciascun specifico punto in ordine alla specifica sorgente sotto indagine. In realtà, nello stesso territorio, è probabile che per sorgenti diverse sia necessario strutturare reti con una diversa dislocazione dei punti perché riferite a modelli di stima completamente diversi. Al fine di stimare la popolazione esposta al rumore è stato proposto (Poggi, 2000) ad esempio, di differenziare l'approccio tra la stima delle esposizioni derivanti da infrastrutture estese (autostrade, strade a grande scorrimento, linee ferroviarie, etc.) da quello relativo al traffico veicolare urbano. Nel primo caso si determina con pochi punti di misura, nei pressi

della sorgente, il potere emissivo dell'infrastruttura, da inserire in un modello di calcolo della propagazione; mentre per il traffico veicolare in un contesto urbano è suggerito un approccio statistico che richiede certamente molte decine di punti di misura la cui posizione è definita sulla base del campione sorteggiato.

Nella progettazione di una rete di monitoraggio si dovrà quindi ricercare la miglior utilizzazione delle misure, per ottenere una descrizione sufficientemente accurata dei livelli sonori che si vogliono descrivere. Se da un lato il calcolo dei livelli da poche misure mediante estrapolazioni in punti lontani può diminuire la precisione di stima, dall'altro può consentire, grazie a una conseguente maggior disponibilità di tempo per seguire ciascun punto di misura, una descrizione più accurata delle variabilità cicliche che modificano i livelli sonori: in altri termini la progettazione di una rete deve perseguire il miglior compromesso tra incertezza di origine spaziale e incertezza di origine temporale della stima effettuata.

In ogni caso l'extrapolazione richiede considerazioni su specifici parametri non acustici che è necessario raccogliere durante il campionamento. Tale raccolta necessita spesso attrezzature dedicate o la collaborazione di soggetti diversi dal gestore della rete; per questi motivi la tipologia di estrapolazione sulla base della quale si intende pervenire alla mappatura deve essere definita prima della raccolta dati, ed è la base dalla quale partire per definire la localizzazione dei punti di misura.

Nella sua generalità questa linea guida non fornisce quindi schemi standardizzati di rete ma individua un percorso di progettazione dello schema che dovrà essere attuato in funzione del contesto territoriale in esame, della tipologia di sorgente indagata e degli obiettivi della mappatura secondo la sequenza:

1. individuazione dei ricettori da rappresentare (esterno abitazioni/edifici pubblici/spazi aperti, lato quieto/più esposto ecc.);
2. definizione della accuratezza di stima richiesta;
3. scelta delle strategie di estrapolazione dalla misura al ricettore;
4. definizione della metodologia descrittiva (stima totale su tutti i ricettori o descrizione statistica?);
5. nel caso della statistica: scelta dell'ampiezza del campione e della strategia di campionamento.

2.4 Localizzazione delle postazioni

Una volta definito un criterio di estrapolazione ed individuati i punti di misura spesso restano comunque ampi margini discrezionali per definire l'esatta localizzazione del microfono. Nel far questo si deve tener conto di alcuni criteri ormai consolidati.

2.4.1 Posizionamento del microfono

Al momento la materia non è univocamente definita dai vari standard normativi o di buona tecnica a cui si può far riferimento; di seguito se ne esaminano i principali riferimenti (Tabella 2.1).

La proposta di direttiva europea tratta in dettaglio il posizionamento dei microfoni indicando altezza dal piano stradale (h) e distanza dalla facciata dell'edificio ricettore (d).

Indica anche che il valore misurato deve essere riferito alla sola energia sonora incidente: questa grandezza non è direttamente misurabile in caso di presenza di facciate riflettenti, e non coincide col valore che sarebbe presente in assenza della parete riflettente. Tale grandezza è invece molto vicina al livello sonoro presente nel vano della finestra aperta. Il valore di riferimento in caso di pareti riflettenti vicine viene quindi derivato da quello misurato mediante una correzione (sulla cui entità esatta si sta ancora discutendo) dell'ordine di -2dB (vedi tabella).

La normativa italiana non tratta in dettaglio la questione del monitoraggio e fornisce indicazioni sul posizionamento del microfono mirate alla verifica, mediante misure, del rispetto puntuale dei limiti di legge: tende in sostanza a portare il microfono, nella posizione del ricettore in esame, all'altezza della testa (1.5 m dal piano di calpestio). Per quanto riguarda le misure all'esterno degli edifici si trovano nei diversi decreti indicazioni univoche riguardo alla distanza dalla facciata dell'edificio: $d=1$ m, mentre sono diverse le proposte riguardo all'altezza in funzione del tipo di sorgente esaminato.

La ISO 1996 (richiamata come riferimento tecnico anche dalla direttiva europea) riguardo al posizionamento lascia ampia facoltà di scelta, suggerendo comunque di adottare distanze dal suolo non troppo basse in quanto queste risentono in maniera più consistente delle diverse condizioni meteorologiche. Per le misure all'esterno di edifici, raccomanda un posizionamento 1.2-1.5 m sopra il piano di calpestio e 1-2 m dalla facciata, questi livelli sono considerati mediamente 3 dB più alti di quelli ottenibili in assenza di riflessione della facciata posteriore misurando nel piano della facciata stessa ad almeno 3.5 m dallo spigolo di questa o 0.5 m davanti ad una finestra aperta.

Nella normativa tecnica italiana è in vigore la UNI 9884 che sostanzialmente propone la stessa metodologia della ISO1996.

Documento	Sorgente	H (m)	d (m)	Correzione parete *dB	Note
Proposta Direttiva UE	Tutte	4 ± 0.2	2 ± 0.2	-2	Per misure esterne all'edificio
DM 16/3/98	Industria	1.5 dal calpestio	1	-	Per misure esterne all'edificio
DM 16/3/98	Tutte	1.5 dal calpestio	<1	-	Per misure interne all'edificio
DM 16/3/98	Traffico e ferrovie	4			
DM 31/10/97	Sorvolo aerei	>3	Vedi nota	-	La distanza microfono edifici deve essere tre volte la differenza di altezza tra edifici e microfono
ISO 1996	Tutte	1.2-1.5 dal calpestio	0.5	0	Davanti alla finestra aperta
ISO 1996	Tutte	1.2-1.5 dal calpestio	1-2	-3	Per misure esterne all'edificio
ISO 1996	Tutte	3-11		0	Per misure in assenza di edifici

Documento	Sorgente	H (m)	d (m)	Correzione parete *dB	Note
					o ad almeno 3.5 metri dallo spigolo di una superficie riflettente
UNI 9884	Come ISO 1996				
ISO 3891/78	Sorvolo aerei	1.2	∞	-	

Tabella 2.1 Comparazione delle indicazioni per il posizionamento del microfono

Altre metodologie di posizionamento si stanno affermando come possibili alternative a quelle convenzionali in particolare diversi standard di misura propongono il posizionamento del microfono appoggiato sulla superficie riflettente applicando poi la correzione -6 dB per portarsi nelle condizioni di riferimento previste dalla direttiva europea.

L'incertezza degli standard riguardo alle indicazioni di posizionamento non impedisce di assumere una scelta su questo aspetto ma impone semplicemente che di ogni posizione si annotino in dettaglio gli elementi che caratterizzano le prescrizioni dei diversi standard in particolare:

1. la presenza o meno di una superficie riflettente dietro il microfono;
2. la distanza da questa;
3. l'altezza rispetto al ricettore a cui si riferisce la misura;
4. l'altezza di misura;
5. l'altezza della sorgente.

Successivamente, se necessario, si possono apportare le eventuali correzioni per riferirlo all'altezza standard assunta o a quella del ricettore. In generale si rileva che le posizioni del microfono più basse (<3 m) risentono fortemente della presenza di condizioni locali particolari (grossi veicoli posteggiati nei pressi del punto di misura, sorgenti locali, ecc) pertanto più facilmente le misure così realizzate possono essere affette da anomalie e variabilità che ne riducono la ripetibilità. Inoltre la dipendenza del livello sonoro dalla esatta posizione del microfono è più marcata per le altezze di misura più basse, così la scelta di una posizione di misura con altezza superiore ai 3 m dal piano stradale è da privilegiarsi per la maggiore riproducibilità del dato che fornisce.

2.5 Durata e frequenza delle misure

Il dato di riferimento usualmente scelto per il monitoraggio acustico è la media di lungo periodo; la proposta di direttiva europea (2000/0194(cod) del 10/04/2001) ed il DM 31/10/97 sul monitoraggio aeroportuale specificano che tale livello è rappresentato dalla media annuale. Questo è il riferimento ottimale per tutte le attività di monitoraggio, e la rete deve essere orientata a determinare tale valore. Per far ciò non sono necessarie misure continuate per 365 gg, ma la determinazione sarà normalmente il frutto di un opportuno campionamento. La scelta del numero, della durata e dei periodi, in cui svolgere le misure di tale campionamento, deve essere condotta sulla base delle

informazioni note a priori riguardo alla variabilità casuale e deterministica della rumorosità.

2.5.1 La variabilità casuale

La componente casuale della variabilità del dato misurato è stata approfonditamente studiata in questi anni (Fisk, 1973; ANSI, 1992; Skarlatos, 1992; Brambilla, 1994; De Donato, 1997; De Donato 1999); com'è noto da considerazioni statistiche di carattere generale, questa è inversamente proporzionale al numero di eventi sonori occorsi. In area urbana, le misure finora condotte, evidenziano che la variabilità casuale del *L_{Aeq}* orario da giorno a giorno nel caso delle infrastrutture di trasporto è normalmente contenuta entro 0.5-1.5 dB in orario diurno ed entro 2-3 in periodo notturno (vedi APPENDICE B): pertanto la media su 3-4 gg, già fornisce sul dato medio orario diurno un valore con una ripetibilità confrontabile con la precisione assoluta della strumentazione di misura. Nel caso dei livelli stimati su un numero maggiore di ore, come sono gli indici proposti, la stabilità statistica è elevata, ed anche la misura di un singolo intervallo fornisce una precisione sufficiente.

2.5.2 Variabilità deterministica di medio periodo

Per quanto riguarda la componente deterministica della variabilità è necessario distinguere quella occasionale, determinata da fenomeni non ricorrenti di alterazione delle condizioni di funzionamento della sorgente in esame (scioperi dei servizi di trasporto, deviazioni del traffico per cantieri, incidenti stradali, festività particolari, ecc) da quella periodica o ricorrente, attribuibile a particolari condizioni della sorgente in determinati giorni della settimana o periodi dell'anno.

Per quanto riguarda i fenomeni di primo tipo, sarà necessario accertarsi direttamente, durante i sopralluoghi al momento del posizionamento e della rimozione della stazione, delle regolarità del luogo e dei dintorni della stazione. Inoltre la presenza di alterazioni significative nel profilo orario di alcuni giorni, rispetto alla deviazione standard dei livelli in quella fascia oraria richiede una specifica indagine per individuare le cause di tale alterazione, e decidere sulla validità dei dati raccolti ai fini del calcolo del valor medio di riferimento. In particolare tali scostamenti sono generalmente da attribuirsi a due diversi tipi di fattore: potrebbe trattarsi dell'evenienza di particolari condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli od avverse alla propagazione sonora; oppure potrebbe dipendere dalla comparsa occasionale di altre sorgenti rilevanti (cantieri, allarmi, musica ecc.). Nel primo caso è necessario procedere ad una più attenta valutazione del ruolo della variabili meteo sul livello sonoro riscontrato (vedi paragrafo *Variabilità stagionale e frequenza delle misure*) altrimenti si tratta di evidenziare la presenza degli altri contributi sonori occasionali con le metodologie descritte nel paragrafo *Individuazione di sorgenti interferenti*.

Per quanto riguarda invece la variabilità deterministica ricorrente, certamente occorre considerare la periodicità settimanale: i giorni di Sabato e Domenica presentano di norma un andamento orario diverso da quello dei feriali. Nel caso del Sabato e molto spesso anche della Domenica questo non modifica però in maniera consistente la media sul periodo diurno e notturno. Per quanto riguarda altri fattori locali vi possono essere

molte questioni che possono rendere un giorno della settimana diverso dagli altri, per fattori di natura sistematica e ripetitiva (mercati, apertura settimanale di uffici, scadenze particolari di natura amministrativa o religiosa), non tutte possono essere facilmente previste e quantificate a priori, pertanto è necessario misurare almeno 3-4 giorni consecutivi, per avere un riscontro della ripetibilità del dato assunto. Nel caso si voglia tenere adeguatamente conto delle differenze tra feriali e giorni di sabato e domenica è raccomandato che le misure abbiano durata settimanale. Il confronto del dato orario raccolto nei diversi giorni feriali, fornisce direttamente una stima della precisione del valor medio orario stimato sia nei confronti della variabilità casuale che di quella deterministica. L'indicatore da calcolare è la deviazione standard σ , degli n valori di $LAeq$ misurati, in funzione dell'ora del giorno d , secondo la formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_d (LAeq(h, d) - LAeq(h)_w)^2}{n - 1}}$$

dove:

$$LAeq(h)_w = 10 \log \left(\sum_d \frac{1}{n} \left(10^{LAeq(h, d)/10} \right) \right)$$

è la media energetica relativa agli n giorni feriali o festivi inclusi nel periodo di monitoraggio; conseguentemente il valor medio del livello equivalente orario, all'ora h , $LAeq(h)_w$, determinato su più giorni, sarà affetto da un'incertezza dell'ordine di:

$$\sigma(LAeq(h)_w) = \frac{\sigma(LAeq(h))}{\sqrt{n}}$$

analogamente si può procedere per la stima dell'incertezza del $LAeq$ del periodo diurno e notturno.

2.5.3 Variabilità stagionale e frequenza delle misure

Per la stima del valor medio annuo è importante definire se la settimana scelta per effettuare le misure possa essere rappresentativa dell'intero anno. A questo riguardo devono essere esaminate sia le variazioni dell'intensità della sorgente, sia, se rilevanti, le caratteristiche meteorologiche prevalenti.

Variabilità stagionale della sorgente

Per quanto riguarda il primo aspetto la rappresentatività del periodo non può essere desunta dalle misure svolte, ma richiede una conoscenza della sorgente che è sotto indagine. Per quanto riguarda il traffico veicolare, in zone non influenzate da particolari intensità dei fenomeni turistici, l'unico fattore di alterazione stagionale significativo risulta il calo pronunciato dei flussi nel mese di agosto³, soprattutto in contesti urbani.

³ Nel periodo estivo, anche in zone non turistiche, sono più frequenti situazioni locali che possono dar luogo a valori di livello sonoro più intensi di quelli registrati in altri periodi dell'anno, o sull'intera giornata o in alcune ore del giorno (ad esempio cinema

Altre variazioni, dovute al calendario scolastico o ad alterazioni simili della vita sociale si sono in genere rivelate contenute entro 1 dB.

Il traffico ferroviario, in genere presenta variazioni modeste nel corso dei diversi periodi dell'anno. Per quanto riguarda il traffico aereo la situazione è più complessa e deve essere esaminata caso per caso, in quanto i fattori stagionali in funzione della complessità dell'aeroporto, possono influenzare non soltanto i volumi di traffico, ma anche la tipologia di vettori utilizzati per i collegamenti, ma soprattutto, in conseguenza delle diverse condizioni meteo prevalenti possono modificare sensibilmente la frequenza con cui vengono scelte alcune vie di atterraggio e decollo, così come parametri operativi importanti quali la potenza al momento del decollo, la lunghezza della rullata prima della salita, l'angolo di salita. Per questo tipo di sorgente, quindi, la variabilità stagionale dovrà essere attentamente indagata, anche col ricorso a periodi di misurazione prolungati e ripetuti nel corso dell'anno.

Per le sorgenti industriali l'analisi del ciclo produttivo è essenziale per avere informazioni sulla variabilità stagionale.

Per quanto riguarda l'intensità della sorgente, quindi, nella maggior parte dei casi è sufficiente escludere che la settimana di misura sia alterata da fattori occasionali, e che non sia scelta nel mese di agosto per avere una misura rappresentativa della media annuale.

Influenza delle condizioni meteorologiche

Le variabili meteo possono influenzare significativamente i livelli sonori misurati con due meccanismi che è necessario tenere distinti.

Una prima influenza è determinata dagli eventi atmosferici rumorosi quali temporali, e forte vento (quest'ultimo oltre al rumore che genera nell'ambiente ne produce in maniera generalmente più rilevante per la turbolenza generata sul microfono: i manuali tecnici dei microfoni da esterno talvolta riportano le caratteristiche della rumorosità indotta in funzione della velocità dell'aria); in questi casi il fatto va trattato alla stessa stregua di una sorgente interferente, e possibilmente il suo contributo deve essere quantificato per ottenere correttamente quello della sorgente indagata.

In un secondo modo le variabili meteo modificano i livelli sonori registrati in quanto da esse dipende l'attenuazione del suono nel cammino di propagazione. In qualche caso le variazioni dei livelli in presenza di particolari condizioni possono superare la decina di dB, ciò nonostante tali alterazioni non devono essere considerate anomalie, ma caratteristiche del rumore della sorgente sotto indagine che avranno statisticamente una certa frequenza di comparsa, che deve essere determinata. In ogni caso tanto più l'altezza del cammino sonoro, dal terreno e dagli ostacoli, sarà piccola rispetto alla distanza della sorgente, tanto più la direzione del vento e il gradiente termico verticale influenzeranno i livelli misurati. La norma ISO 9613-2/1996 indica che la presenza di un effetto significativo delle condizioni meteorologiche può essere atteso quando la distanza tra la sorgente e il ricettore è maggiore di 10 volte la somma delle loro altezze sul suolo. In questi casi è certamente necessario accertare le condizioni meteo in cui le misure si sono svolte, per confrontarle con le frequenze prevalenti di condizioni favorevoli, neutre, o sfavorevoli alla propagazione. In generale, salvo situazioni

all'aperto o luoghi di ritrovo tipicamente estivi possono incrementare notevolmente i livelli di traffico in zone che in altri periodi dell'anno sono poco frequentate) a seconda della durata di tali caratteristiche, la situazione dovrà essere trattata come una variabilità stagionale o come una alterazione occasionale

facilmente semplificabili, non si potrà adottare il risultato di un determinato periodo di misura, ma è opportuno stimare il valore medio annuale ricorrendo ad una estrapolazione modellistica che tenga conto delle condizioni meteo secondo lo schema concettuale e tecnico del metodo di calcolo francese NMPB (AAVV; 1997).

In tutti i casi in cui vi possa essere una variabilità stagionale, o non si sia in grado di escluderla, la ripetizione di misure a distanza di tempo inferiore all'anno può essere finalizzata a stimarne la rilevanza e a determinare il livello medio annuo.

Frequenza delle misure

A differenza delle caratterizzazioni spaziali in cui la variabile tempo non risulta particolarmente vincolante, per stimare i trend di lungo periodo è necessario, invece, per la maggior parte delle sorgenti, un intervallo minimo di almeno un anno tra le rilevazioni. Infatti anche nel caso di interventi di modifica della sorgente, quali ad esempio: restrizioni della circolazione ad alcune categorie di veicoli, modifiche della segnaletica, costruzione di dissuasori o *chicanes*, rifacimento del manto stradale, modifica dell'armamento ferroviario, introduzione in esercizio di nuovi tipi di veicoli e simili, variazioni delle caratteristiche operative delle piste dell'aeroporto; aventi tutti una precisa data di attivazione, in genere è necessario attendere alcuni mesi affinché la nuova situazione possa ritenersi stabilizzata.

In conclusione una ripetizione biennale delle stime del livello annuale può essere un buon compromesso tra l'esigenza di aumentare il numero di punti nella rete e una adeguata risoluzione temporale.

2.6 Individuazione di sorgenti interferenti

Poiché la rete è destinata a definire i livelli sonori di ogni specifica sorgente l'effetto di sorgenti sonore inattese nei pressi della postazione microfonica deve essere evidenziato, e possibilmente quantificato al fine di stimare correttamente quello della sorgente indagata. Nel caso di postazioni di misura non presidiate come quelle di monitoraggio, in genere non è solitamente possibile avere la certezza assoluta che un'alterazione dei livelli sonori da parte di una sorgente interferente venga identificata. Esistono però tre tipologie di verifiche la cui contemporanea adozione rende poco probabile che tale evento sfugga al controllo:

1. verifiche durante il sopralluogo;
2. controllo della stabilità dei livelli medi;
3. esame dell'andamento temporale del livello sonoro.

Le prime due tipologie di verifiche sono già state menzionate nei paragrafi precedenti, la terza si fonda sul fatto che la sorgente in esame ha una variabilità dei propri livelli sonori conosciuta. Nel caso di sorgenti di rumore continuo, anche se variabile, è ad esempio possibile attendersi che i livelli prodotti abbiano un valore massimo oltre il quale difficilmente l'emissione sarà per periodi di tempo significativi. Così è possibile impostare una registrazione degli eventi eccezionali fissando una soglia di livello vicina a tale valore ed una durata dell'ordine della decina di secondi. La presenza di eventi registrati per eccedenza di tali soglie deve far indagare sulla possibilità che le misure

siano state disturbate. Dalla determinazione del SEL di tali eventi è possibile determinare quanto tali eventi abbiano alterato il livello medio orario, ottenendo così una indicazione sulla importanza di risalire alla causa di tali eventi per decidere riguardo alla possibilità di correggere le misurazioni effettuate. Alcuni strumenti consentono di attivare una registrazione sonora o video dell'evento che ha dato luogo al superamento favorendo così una diagnosi precisa. Nel caso del rumore da traffico ad esempio è sufficiente attendere qualche minuto di misurazione per determinare il livello massimo. La soglia potrà essere fissata pari a quel livello con una durata superiore a 15 s per ottenere un buon compromesso tra sensibilità e selettività.

Nel caso invece di sorgenti di tipo intermittente (treni, sorvoli) il sistema è già molto selettivo quando si proceda all'identificazione del singolo evento. In questo caso l'unico criterio da verificare è che esista una sufficiente separazione tra L_{max} e livello equivalente nel periodo di interesse, in genere 10 dB sono una soglia più che sufficiente a garantire che la rilevazione della rumorosità della sorgente indagata è poco influenzata dalla presenza delle altre.

Nel caso invece si proceda ad una attribuzione non verificata degli eventi alla sorgente è necessario garantirsi maggiormente; le strategie sono due:

1. richiedere una maggiore differenza tra livelli sonori tipici dell'area (il DM 20/05/1999, sulla progettazione dei sistemi di monitoraggio per gli aeroporti, chiede ad esempio 20 dB tra il massimo L_{Aeq} di 600 s e il livello L_{max} fast registrato sugli eventi di misura);
2. effettuare un test a campione sugli eventi registrati, identificandoli effettivamente e verificando la rilevanza (energetica) di quelli falsamente attribuibili alla sorgente.

2.7 Procedure di calibrazione e gestione dati

Nella realizzazione di una rete di monitoraggio è indispensabile definire procedure rigorose basate sulla filosofia dei sistemi di accreditamento delle prove di misura, che garantiscano la piena rintracciabilità del dato e delle condizioni di misura in cui è stato ottenuto, così come la piena garanzia della accuratezza della strumentazione di misura. Al primo obiettivo si perviene con la definizione di procedure che descrivano le operazioni di raccolta dati da effettuarsi contestualmente al posizionamento della stazione ed allo scarico e archiviazione dei dati acustici. A questo scopo è opportuno utilizzare strumenti informatici predisposti per l'archiviazione dei dati che consentano la registrazione di tutte le informazioni utili, contestualmente alla memorizzazione dei livelli sonori registrati.

Di ogni misurazione è utile che vengano memorizzate le seguenti informazioni:

1. posizione di misura (via e numero civico e coordinate geografiche);
2. distanza del microfono dalla superficie riflettente (codici opportuni indicheranno il caso di posizione davanti al vano finestra aperto);
3. altezza del microfono sul piano di campagna;
4. tipo di sorgente (traffico stradale ferroviari ecc);
5. nome della sorgente (codice identificativo della arteria stradale o ferroviaria ecc.);
6. distanza del microfono dalla sorgente;

7. catena di misura utilizzata;
8. data inizio delle misure;
9. altezza del tachimetro sul suolo, se si acquisiscono anche dati meteo;
10. nome dell'operatore che ha posizionato la stazione;
11. note.

Un foglio tipo che costituisce un esempio per una simile gestione dei dati è descritto in allegato 1.

2.7.1 Procedura di calibrazione

La catena fonometrica di ogni stazione ed i calibratori devono essere verificati da un centro di taratura SIT ogni 2 anni. Ogni campagna di misura deve prevedere almeno una verifica di buon funzionamento alla fine ed all'inizio della misure mediante controllo automatico o manuale della risposta di tutti i componenti della catena fonometrica, a partire dalla capsula microfonica. Una adeguata procedura di validazione dei dati acquisiti deve garantire che la loro archiviazione avvenga solo se la catena supera una verifica di calibrazione effettuata con un calibratore di classe 1 secondo la IEC 942 successivamente alle misure. Nel caso non si proceda ad una simile verifica dopo ogni campagna di misura, qualora una verifica di calibrazione dia esito negativo, devono essere scartati tutti i dati successivi all'ultima verifica positiva. I metodi di controllo automatici, non consentono, in genere, di avere una verifica di calibrazione paragonabile a quella di un calibratore, ma si limitano ad una verifica di buon funzionamento; solo nel caso che tale sistema evidenzia con chiarezza l'inizio di un guasto o di un malfunzionamento, possono essere ritenuti validi tutti i dati fino a tale momento.

3. INDICAZIONI PER LA REALIZZAZIONE DI STAZIONI DI MONITORAGGIO COSTITUTIVE DELLE RETI DI RACCOLTA DATI SULL'INQUINAMENTO ACUSTICO

3.1 Analisi delle caratteristiche minime della strumentazione in funzione degli obiettivi della misura

Le stazioni di monitoraggio adeguate alle funzioni di raccolta dati per un punto di misura di una rete di monitoraggio dell'inquinamento acustico, così come l'abbiamo finora definita, dovranno avere alcune requisiti minimi che discendono dalla normativa di riferimento e dalle funzioni che abbiamo individuato necessarie.

Lo strumento dovrà necessariamente essere un fonometro integratore in grado di memorizzare il L_{Aeq} di intervalli orari di misura, e di acquisire eventi sonori il cui livello supera una soglia predefinita per intervalli di tempo superiori ad un minimo richiesto. In questo caso lo strumento dovrà registrare almeno istante di inizio, durata, SEL e L_{MAX} dell'evento.

Per l'analisi di sorgenti che producono eventi sonori distinti, come ad esempio il rumore ferroviario, è necessario prevedere la possibilità che al superamento dell'evento sia pilotata l'attivazione di strumentazione di registrazione video o audio, per consentire un successivo riconoscimento dell'evento. Questa può essere un registratore audio digitale o un videoregistratore da sorveglianza attivati dalla porta logica del fonometro (verificare la compatibilità tra le porte dei due strumenti) o invece un dispositivo di registrazione audio interno allo strumento.

Il Fonometro dovrà rispondere alla classe 1 di precisione della norma tecnica EN 60651/94 e 60804/94.

Il microfono dovrà essere adatto ad essere esposto con continuità all'esterno, quindi dotato di protezione adeguata in caso di pioggia o nebbia.

E' preferibile che lo strumento consenta una verifica del regolare funzionamento della catena di misura in automatico ad intervalli di tempo preimpostati.

Per lo svolgimento di misure a distanza superiore a 40 volte l'altezza media del cammino di propagazione sul suolo, è preferibile integrare la generica conoscenza delle condizioni meteo con la misura di direzione ed intensità del vento. A tale scopo è più comodo e preciso poter disporre di un tachoanemometro integrato nella stazione di misura.

3.2 Possibili configurazioni di stazione

Per individuare le soluzioni concrete che possono integrare una adeguata stazione di misura per il monitoraggio acustico dobbiamo partire analizzando le caratteristiche essenziali per una simile strumentazione: dall'esperienza di questi anni e da quanto è stato sin qui delineato riguardo alla costruzione di una rete di monitoraggio risulta importante che l'insieme degli strumenti che costituiscono la stazione garantiscano i seguenti requisiti:

1. facilità di trasporto su ogni tipo di terreno;
2. agevole manovrabilità anche da parte di un solo addetto;
3. rapidità di installazione;
4. sicurezza per le apparecchiature (atti vandalici, agenti atmosferici, perdita dati per mancata alimentazione, ecc.);
5. versatilità della strumentazione acustica rispetto ai parametri rilevabili (ad esempio soglie, livelli statistici ecc.);
6. lunga autonomia energetica ed estesa memoria dati;
7. possibilità di connessione e sincronizzazione con strumenti esterni (registratori audio, analizzatori di spettro, videoregistratori e telecamere, sensori meteorologici, ecc.);
8. affidabilità delle misure: quindi autocalibrazione e facile taratura; basso tasso di guasti; semplicità di configurazione (hardware e software) per minimizzare gli errori umani (più frequenti di quanto non si pensi).

A questi scopi, tenuto conto della tipologia e delle caratteristiche della strumentazione attualmente offerta dal mercato si individuano nei seguenti paragrafi due tipi di soluzione per la stazione tipo.

3.2.1 Stazione tipo 1- "scatola"

Questa prima tipologia è quella che garantisce la maggiore facilità di collocazione in ambiente urbano, sia all'interno che all'esterno di edifici, ed al tempo stesso i costi di realizzazione più contenuti. E' diventata molto più facilmente realizzabile e pratica grazie alla recente evoluzione degli strumenti di misura ed acquisizione, che sono diventati più piccoli e leggeri ed al tempo stesso molto parchi di consumi; ma la svolta decisiva è da attribuire alla disponibilità di microfoni e preamplificatori "tradizionali" (1/2" + palla antivento) adatti ad essere esposti con continuità alle intemperie, e dotati di funzioni di autocalibrazione che effettuano anche una diagnostica della capsula microfonica. A questo punto la stazione può facilmente essere realizzata mediante un piccolo contenitore adatto per il collocamento in sedi campali e quindi: stagno (IP65), coibentato, con attacchi per il posizionamento su cavalletto o tramite apposite staffe (ad esempio su pali di illuminazione stradale). All'interno di tale contenitore è collocata la strumentazione di misura, i cavi di collegamento con il microfono, la batteria di alimentazione. Il microfono può essere supportato dal contenitore stesso.

3.2.2 Stazione tipo 2- "carrello"

Nella seconda tipologia si sceglie come contenitore della strumentazione un carrello rimorchio adeguatamente attrezzato. La maggior capienza in volume e peso presenta vantaggi e svantaggi: da un lato si rinuncia alla possibilità di collocazione all'interno di edifici ma si ottiene il vantaggio di una maggiore sicurezza degli strumenti da furti od atti vandalici. Il carrello offre una maggiore facilità di collocare lo strumento in sicurezza in spazi non edificati, mentre la facilità di utilizzare microfoni specificamente progettati da esterni li rende più affidabili per esposizioni molto prolungate in condizioni meteorologici avverse, ed al tempo stesso offre una maggiore flessibilità nella determinazione dell'altezza del punto di misura.

La strumentazione sarà montata su di un piccolo carrello leggero, e quindi trainabile da ogni tipo di autoveicolo, munito di gancio ma anche facile da spostare manualmente da un solo addetto.

Il carrello sarà costruito appositamente e dovrà essere costituito delle seguenti parti principali:

1. contenitore impermeabile per la strumentazione;
2. contenitore separato per l'alloggiamento di una o più batterie al piombo; attacchi rapidi e di facile utilizzo per il fissaggio delle stesse; presa esterna per l'eventuale ricarica;
3. contenitore per il microfono da esterno (con supporto per il suo posizionamento verticale quando non in misura);
4. palo telescopico che permetta al microfono di raggiungere l'altezza da terra di almeno 4/5 m;
5. ripostiglio posa oggetti;
6. piedini di stazionamento del carrello (eventualmente estensibili per aumentare la base di appoggio).

La strumentazione può essere quella base adottata per la soluzione precedente, ma il carrello si adatta, per la maggiore capienza, ad una soluzione più completa e versatile che consente di integrare le misure acustiche con quelle di altre grandezze ad esse correlate, come conteggi del traffico e condizioni meteorologiche, o di implementare, sia pure saltuariamente, analisi acustiche specifiche che richiedano il collegamento a strumentazione specifica, come un registratore magnetico, un analizzatore in frequenza od altro. Per garantire queste opportunità il carrello dovrà avere le seguenti caratteristiche aggiuntive:

1. alloggiamento per la strumentazione più grande (piano per l'appoggio di altri strumenti di misura e registrazione dati), con prese di alimentazione a tensione regolabile (convertitori DC-DC);
2. vano batterie più grande (possibilità di contenimento fino a 5 batterie al piombo da 100 Ah);
3. cassetti posa oggetti;
4. staffa per il montaggio sul palo telescopico dell'eventuale telecamera, sensori meteorologici, ecc;
5. vano ripostiglio;
6. eventualmente anche pannelli solari con alimentatori per la ricarica delle batterie.

3.2.3 Scelta dello châssis e dei materiali

L'esigenza fondamentale che deve essere soddisfatta è conciliare la robustezza con la leggerezza.

Per quanto riguarda il contenitore della prima tipologia di stazione questo può essere realizzato adattando quelli già in commercio per la installazione di apparecchiature elettriche all'aperto. Diversamente può trattarsi di scatole appositamente realizzate; può essere lasciato grezzo o meglio verniciato di bianco (diminuendo così il riscaldamento, per irraggiamento solare, all'interno).

Per l'allestimento interno dei carrelli i materiali possono essere laminati plastici leggeri, legno compensato rivestito ecc., mentre è sconsigliabile il legno truciolare (troppo pesante).

Per un buon funzionamento della strumentazione elettronica di misura c'è l'esigenza che all'interno dei contenitori e dei mezzi non si abbassi o alzi troppo la temperatura. Per raggiungere questo scopo nei nostri climi (escluso zone di montagna nei mesi invernali) è sufficiente una buona coibentazione tramite sandwich di alluminio poliuretano e compensato, mentre sono sconsigliabili i rivestimenti in polistirolo (che si sgretolano nel tempo). La buona coibentazione permette, inoltre, di non installare alcuna stufa e bombola di gas alleggerendo di molti chili il mezzo mobile. Nelle zone montane invece è opportuno provvedere il carrello di un sistema di riscaldamento a gas termostato, preferibilmente senza fiamma pilota (soluzioni da camper).

Lo châssis del carrello deve avere una larghezza massima di 1.5 metri e lunghezza massima (compreso il timone) di 2.7 metri.

Deve essere inoltre dotato di buoni freni di stazionamento e di una ruota del timone più larga possibile o doppia (per non affondare nel fango).

Una scelta idonea dei materiali e la predisposizione di apposite maniglie sulla struttura esterna, permetterà di avere un sistema facilmente posizionabile in tutti i siti anche da un solo addetto.

3.3 Scelta della strumentazione

I fonometri adatti a questo tipo di rilevazioni sono sostanzialmente di 3 tipi:

1. analizzatori di livello sonoro senza analisi in frequenza;
2. analizzatori di livello sonoro con analisi in frequenza *real time*;
3. analizzatori di spettro *computer-based*.

Gli strumenti di primo tipo sono i più economici, e per quanto detto fin qui, consentono la maggior parte delle analisi necessarie per gli scopi del monitoraggio. Questa classe di strumenti presenta in genere un basso assorbimento, il che consente più agevolmente una adeguata autonomia della stazione. Per gli strumenti di questa categoria è necessario verificare in dettaglio che abbiano effettivamente la possibilità di pilotare controlli in automatico della calibrazione e di operare acquisizione di eventi sulla base di una analisi di soglia pilotando la strumentazione esterna (registratore audio o video). Sono lo strumento obbligato nel caso di stazioni del tipo 1. in quanto l'unico tipo che possa lavorare per 7 giorni con batterie che possano essere agevolmente trasportate con tale stazione.

Gli strumenti di tipo 2. presentano in genere una più ampia possibilità di modalità operative, e di controllo della strumentazione collegata. Presentano un assorbimento di corrente assai più elevato dei precedenti, in genere a prescindere dal fatto che si decida di memorizzare l'analisi in frequenza del rumore acquisito.

La terza classe di strumenti presenta in genere una elevata versatilità, non necessita di strumentazione esterna per acquisire una registrazione audio degli eventi sonori, ma è ancora sconsigliabile adottare un sistema centrato su di un personal computer per la bassa affidabilità in condizioni climatiche non controllate, la bassa resistenza alle sollecitazioni meccaniche durante il trasporto ed gli alti consumi di energia elettrica.

3.4 Accorgimenti pratici

3.4.1 *Autonomia ed alimentazione*

Sia l'alimentazione della struttura trasportabile che quella dei mezzi mobili è fornita da batterie. Il numero, il tipo e la capacità di queste sarà tarato rispetto al consumo totale della strumentazione utilizzata. Le batterie al piombo sono oggi suddivise in categorie in funzione delle loro caratteristiche: si chiamano batterie da accensione quelle (normalmente installate sulle auto) in grado di erogare grandi correnti di spunto, pensate per restare usualmente sempre cariche, mentre sono denominate batterie da trazione, quelle capaci di sopportare meglio le scariche profonde, e numerosi cicli di carica e scarica. Per l'utilizzo con le stazioni mobili di monitoraggio sono preferibili queste ultime. Nel caso di stazioni di tipo "scatola" è importante che si tratti di batterie sigillate in grado di non perdere liquido durante eventuali rovesciamenti. Da notare che le diverse tecnologie costruttive comportano pesi diversi a parità di capacità.

E' importante una facile e rapida sostituzione delle batterie di alimentazione; capita spesso, infatti, che convenga spostare il mezzo in un altro sito di misura senza ritornare in sede.

E' consigliabile dotare i carrelli di un convertitore DC/DC da cui poter derivare più di una tensione (12, 15, 24 V), avendo così circuiti di alimentazione con masse flottanti, per evitare loop di massa quando si connettono tra loro strumentazioni diverse.

I consumi della strumentazione di un mezzo mobile, completo ad esempio di videoregistratore e telecamera, sono abbastanza elevati. E' proponibile, per aumentare l'autonomia, l'installazione di pannelli solari e degli alimentatori di ricarica delle batterie, ma un rapido calcolo sulla reale quantità di energia fornita li dimostra efficaci solo a patto che la potenza installata sia almeno pari ai 100 W nominali.

Il vano batterie deve essere munito di una griglia di aerazione comunicante con l'esterno e regolabile, ma deve essere completamente separato dalle restanti parti del mezzo, per evitare che i vapori acidi danneggino la strumentazione.

3.4.2 *Il microfono ed il suo collegamento*

I microfoni da esterno sono soggetti agli agenti atmosferici tra cui la pioggia, l'umidità, la condensa, il calore per irraggiamento solare.

Per risolvere tali problemi le case costruttrici hanno introdotto delle soluzioni tecniche appropriate (parapioggia, riscaldatore, argentatura esterna, ecc.) che però sono di sicura efficacia solo in posizione verticale. Spesso si trascura il fatto che il microfono va mantenuto verticale anche durante il trasporto: infatti se al momento dello smontaggio della postazione si ricovera l'asta microfonica orizzontalmente, se è presente umidità o condensa, si rischia di danneggiare il microfono.

Sempre per problemi connessi all'umidità ed all'usura meccanica è opportuno progettare il minor numero possibile di sezionamenti elettrici esterni: questi, anche con buoni connettori, restano un punto critico per l'affidabilità del sistema di misura nel tempo. La soluzione migliore è che l'analizzatore sia connesso con il microfono tramite cavi senza sezionamenti intermedi, e che, quindi, si progetti il sistema in modo che si possa ricoverare verticalmente ed in maniera sicura il microfono senza scollegarlo.

4. CAPITOLATI DI APPALTO TIPO

4.1 Caratteristiche di capitolato per analizzatore di livelli sonori

Forma oggetto della fornitura l'acquisto di un "Analizzatore di livelli sonori dotato di unità microfonica per esterni"; la catena di misura dovrà presentare caratteristiche strumentali uguali o superiori a quelle di seguito descritte:

1. conformità alla classe 1 secondo norme EN 60651 e 60804;
2. certificato di taratura eseguita presso centro SIT;
3. certificato di conformità alle norme EN di cui sopra rilasciato da centro metrologico primario;
4. manuale di istruzioni in italiano;
5. capacità di analisi statistica di livelli sonori in intervalli programmabili;
6. possibilità di memorizzazione di eventi sonori con eventuale *time-history*;
7. (eventuale) possibilità di analisi in frequenza parallela con filtri conformi alle EN 61260;
8. controllo automatico calibrazione microfono;
9. porte logiche per controllo strumenti da soglie comandate su livelli sonori (trigger out);
10. possibilità di controllo remoto del registratore DAT (richiedere la specifica compatibilità col modello eventualmente in dotazione);
11. alimentazione esterna da batteria 12 V;
12. uscita AC non ponderata;
13. cavo di prolunga 5 mt;
14. acquisizione dati meteo.

Copia del manuale in italiano dovrà essere fornita assieme alla documentazione descrittiva dell'offerta.

I beni devono essere costruiti a perfetta regola d'arte e corrispondere nell'insieme e nei singoli componenti alle prescrizioni previste dalla normativa italiana, comunitaria e internazionale in materia di sicurezza e di igiene del lavoro, in particolare dovranno essere anche corredate da idonea documentazione in italiano relativa alla identificazione dei pericoli e delle modalità di prevenzione così come meglio precisato nella lettera d'invito a gara, e risultare efficaci e sicuri in rapporto al tipo di energia impiegata, nelle condizioni d'uso dell'apparecchiatura.

4.1.1 Garanzia e manutenzione

La ditta aggiudicataria è tenuta alla garanzia per i vizi con le modalità e le forme previste dal Codice Civile.

La ditta aggiudicataria dovrà assicurare un'efficace ed idonea assistenza manutentoria delle attrezzature per il periodo di garanzia rientrando l'onere stesso, nel corrispettivo contrattuale. In tale previsione, la ditta dovrà fornire contestualmente all'offerta, i dati significativi della propria organizzazione diretta sia a livello nazionale che regionale, specificando di quanti punti di assistenza e manutenzione dispone attualmente ed in quali località, nonché attestazione di idoneità tecnico professionale del personale addetto alla manutenzione e messa in funzione delle attrezzature ai sensi dell'art. 7 del D. Lgs. n. 626/94. Gli interventi per la manutenzione dovranno aver luogo nei tempi indicati dalla ditta nell'offerta e comunque non oltre il termine massimo di 40 ore lavorative dalla richiesta.

4.2 Caratteristiche di capitolato per la fornitura di un carrello rimorchio dedicato al monitoraggio acustico

Oggetto dell'offerta: fornitura di un "carrello rimorchio" non abitabile, così come schematizzato nell'allegato progetto tipo (Allegato 1), da utilizzare per le misure di rumore che dovrà presentare caratteristiche tecniche uguali o superiori a quelle di seguito descritte:

1. dimensioni: larghezza massima 150 cm, lunghezza massima 200 cm escluso il timone. Saranno comunque preferibili dimensioni inferiori;
2. superficie superiore calpestabile;
3. piedini di stazionamento regolabili;
4. supporto del gruppo microfono tale da portare la capsula microfonica a 450 cm da terra. Le aste microfoniche di cui il carrello può essere equipaggiato sono le seguenti:
 - a) asta per esterni di lunghezza xx cm;
 - b) asta per esterni di lunghezza yy cm.

Nel caso a) il palo/sostegno deve essere dotato in estremità di maschio filettato M50, nel caso b) deve essere prevista una prolunga di 60 cm, con terminale in estremità dotato di maschio filettato come un normale cavalletto fotografico⁴.

Il palo sostegno del microfono dovrà essere manovrabile agevolmente da una sola persona per il suo innalzamento/abbassamento; il gruppo microfonico dovrà poter essere riparato in posizione verticale durante il traino del carrello, senza dover interrompere la continuità dei cavi di collegamento.

Gli stessi cavi non dovranno trovarsi all'esterno durante lo stazionamento in misura. Il supporto dell'asta microfonica non dovrà produrre nessun rumore a causa delle oscillazioni;

⁴ Misure e caratteristiche delle filettature sono puramente indicative del dettaglio necessario nel caso si debba operare con aste microfoniche diverse o non sia definito l'esito della gara.

5. all'interno del carrello dovrà essere previsto un vano ventilato per il ricovero delle 6 batterie di alimentazione, ciascuna da 12 V 100Ah. L'accesso al vano dovrà essere agevole per la sostituzione delle batterie, che comunque dovranno poter essere fissate (per evitare spostamenti nel trasporto) e collegate rapidamente;
6. all'interno del carrello dovrà essere previsto un vano, ventilato e coibentato, per la strumentazione di misura, di dimensioni minime 70x45 cm. L'accesso alla strumentazione in esso contenuta dovrà essere agevole e tale da consentire il riparo della stessa in caso di apertura del vano sotto la pioggia; il vano strumenti non dovrà essere in collegamento diretto con il vano batterie;
7. all'interno del carrello dovrà essere previsto un vano per il ricovero di attrezzi;
8. dovranno essere predisposti passacavi di collegamento tra il vano strumenti ed il microfono, e tra il vano strumenti ed il vano batterie;
9. tutti i vani, ed in particolare quello strumenti, dovranno essere dotati di serrature/lucchetti; il palo di sostegno del microfono dovrà essere dotato di accorgimenti tali da non consentirne l'abbassamento accidentale o per atto vandalico (ad es. lucchetti o comando di innalzamento solo con utensili appositi);
10. dovrà essere predisposto un secondo palo sostegno, di lunghezza complessiva tale da raggiungere i 250 cm dal suolo, per il posizionamento di ulteriore strumentazione (telecamera, sensori meteorologici etc.) di limitato peso ed ingombro; questo palo, che potrà essere anche rigido, dovrà poter essere montato all'occorrenza su un'apposita staffa del carrello e dovrà essere previsto un passacavi stagno in collegamento con il vano strumenti; alla sommità dovrà essere prevista una piastra forata per il montaggio di staffe di sostegno. In alternativa al secondo palo è possibile prevedere un sostegno a sbalzo montato sul palo microfonico;
11. il carrello dovrà essere dotato di freno di stazionamento e di maniglie per lo spostamento a spinta; dovrà essere posta molta cura a prevenire possibili atti vandalici;
12. la gestione dell'alimentazione dovrà essere il più flessibile possibile; in particolare dovranno essere previste prese di alimentazione a 12 e 24 V (proveniente da 2 batterie in serie), nonché uscite a tensioni variabili da 9 a 24 V provenienti da almeno due convertitori DC/DC di bassa potenza, eventualmente escludibili; uno schema di massima, solo indicativo, è allegato alla presente;
13. i collegamenti tra il pannello di alimentazione e gli strumenti, nonché tra gli strumenti stessi, saranno eseguiti dai tecnici utilizzatori del carrello;
14. n° 2 pneumatici, nuovi ed omologati, idonei al carrello rimorchio, n° 1 pneumatico di scorta, nuovo ed omologato, nonché attrezzatura per intervento manutentivo;
15. adempimenti relativi ad ottenere la carta di circolazione del carrello rimorchio comprensivi di: omologazione, telaio, immatricolazione e iscrizione al PRA ivi compreso i relativi oneri;
16. la eventuale definizione di singoli particolari costruttivi, comunque facenti parte di quanto elencato sopra, sarà eseguita concordemente con i tecnici della (indicare struttura di riferimento tecnico per la fornitura);

Nel preventivo andranno quotate a parte le seguenti ulteriori opzioni:

- a) Installazione di uno o più pannelli solari (calpestabili) e dell'elettronica di controllo da utilizzarsi per la ricarica delle batterie.
- b) Fornitura di 6 batterie da 12 V 100A/h adatte all'uso con pannelli solari, o comunque adatte a cicli ripetuti di scarica/ricarica.

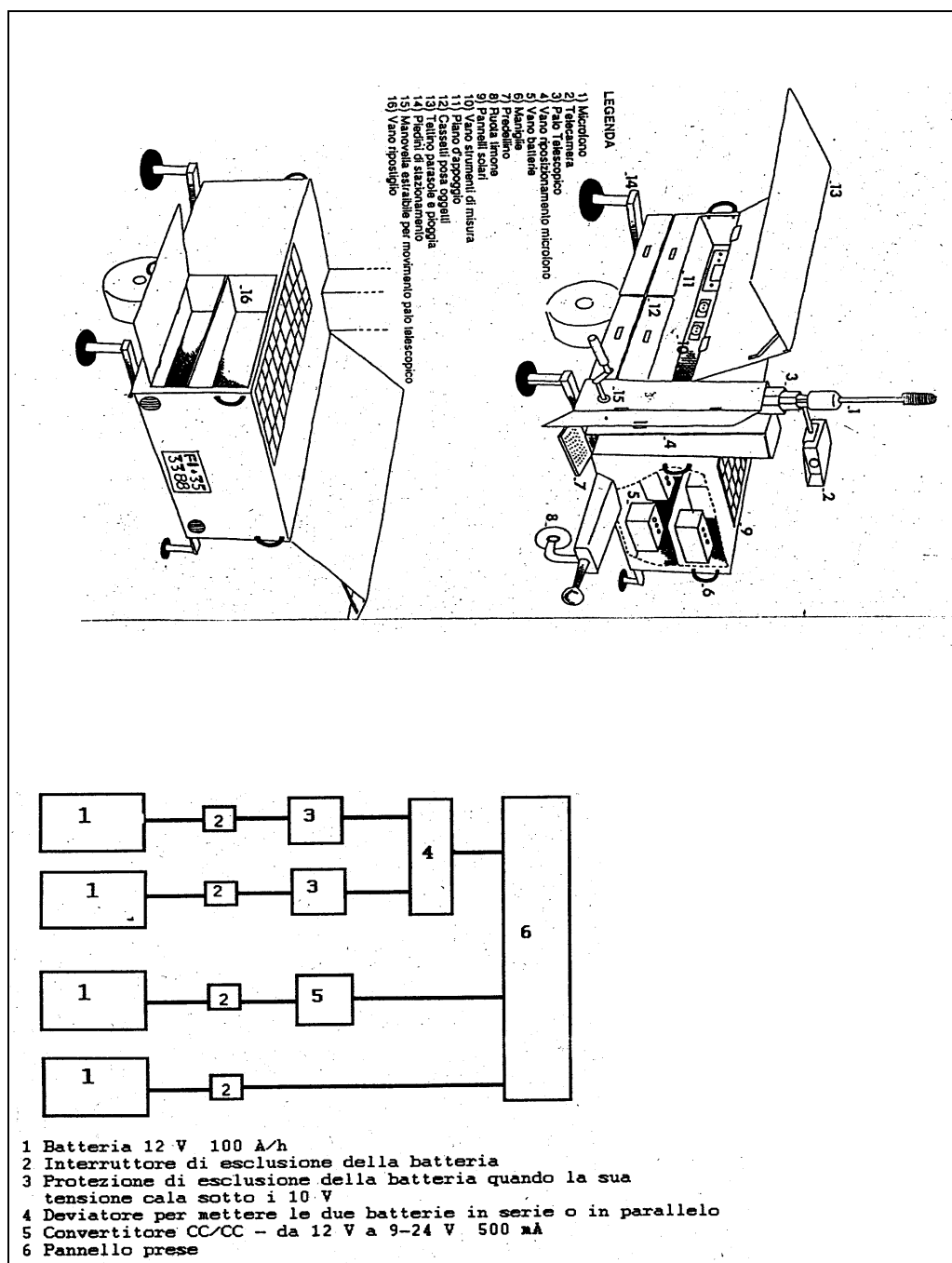


Figura 4.1: Schemi gentilmente forniti da A. Mazzucchielli e S. Cantini.

BIBLIOGRAFIA

AA VV, 1997, *Bruits des infrastructures routières; méthode de calcul incluant les effets météorologiques; version expérimentale; NMPB-Routes-96*, Lyon, F, Bureau Éditions du CERTU.

American National Standard Institute, 1992, *ANSI S12.9-1992/Part 2. Quantities and procedures for description and measurements of environmental sound. Part 2: Measurement of long-term, wide-area sound*.

Berglund B., Lindvall T., Schwela D.H., 1999, *Guidelines for Community Noise*, World Health Organization.

Bertoni D. et al., 1994, *Gli effetti del rumore dei sistemi di trasporto sulla popolazione. Lo studio sulla collettività modenese*, Bologna, I, Pitagora Editrice, pag. 91.

Brambilla G., 1994, *Tecniche per la caratterizzazione acustica del territorio*, Bologna, I, Pitagora Editrice, pagg. 437-446.

Brambilla G., 1994, *Criteri di valutazione della riproducibilità e significatività del dato acustico*, Bologna, I, Pitagora Editrice, pagg. 447-450.

Callegari A., Franchini A., 2000, *Rassegna degli effetti derivanti dall'esposizione al rumore, RTI CTN_AGF 3/2000*, Roma, I, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente – Verona, I, Centro Tematico Nazionale Agenti Fisici.

De Donato S.R., Mori B., “Determinazione del tempo minimo di integrazione per la misura del L_{eq} con un dato livello di confidenza nell'ipotesi di distribuzione poissoniana del flusso veicolare”, *Atti del XXV Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica*, Perugia, 21–23 maggio 1997, vol. 1, pagg. 585-592.

De Donato S.R., Secchione R., Busca F., “Caratterizzazione acustica del territorio di Rimini. Un metodo basato su misure sorgente-orientate e campionamento stratificato”, *Rivista Italiana di Acustica*, vol. 23, n. 1-2, pagg. 41-47, 1999.

Fagotti C., Poggi A., 1998, *Il rumore a Firenze. Dieci anni di studio (1987-1996) del rumore urbano da traffico. Le misure, le cause, gli effetti e le possibilità di intervento*, Firenze, I, Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana.

Fisk D.J., “Statistical Sampling in Community Noise Measurements”, *Journal of Sound and Vibration* 30(2), pagg. 221-236, 1973.

Licitra G. et al., “Confronto fra gli indicatori proposti dalla Commissione europea e la normativa italiana: l’effetto della correzione per le riflessioni”, *Atti del XXVIII Convegno Nazionale dell’Associazione Italiana di Acustica*, Trani, 10–13 giugno 2000, pagg. 35–38.

Miedema H.M., Vos H., “Exposure-response Relationships for Transportation Noise”, *Journal of Acoustic Society of America* 104, 1998.

Poggi A., Fagotti C., 2000, *Linee guida per la rilevazione di dati utili per la stesura della relazione biennale sullo stato acustico del comune*, AGF-T-LGU-00-01.

Skarlatos D., Drakatos P., “On Selecting the Minimum Observation Time for Determining the L_{eq} of a Random Noise with a Given Level of Confidence”, *Journal of Sound and Vibration* 152(1), pagg. 141-148, 1992.

APPENDICE A: Studio sulla dipendenza del livello sonoro dal piano dell'edificio ricettore

Relativamente al traffico veicolare urbano G.Brambilla -CNR Istituto Corbino- ha elaborato dati relativi a misure effettuate in diverse città Italiane ottenendo risultati solo parzialmente sovrapponibili con quelli di utilizzati nell'indagine Modenese (Bertoni, 1994); in entrambi i casi il valore dello scarto del singolo caso dalla media è dello stesso ordine di grandezza della correzione stessa: tali correzioni quindi possono essere usate senza problemi nel caso di un approccio statistico, dove gli scarti dei singoli casi possono mediarsi tra loro, mentre per un uso di tipo deterministico, sarebbe opportuno poter affinare le modalità di stima, probabilmente introducendo ulteriori differenziazioni tra i diversi casi in relazione alle variabili architettoniche che caratterizzano l'acustica della strada (presenza o meno di edifici su entrambi i lati, rapporto tra l'altezza degli edifici che la fiancheggiano e larghezza della strada ecc.). In tutti i casi il piano terreno risente fortemente di effetti locali ed accidentali legati alla schermatura della sorgente prodotta dalle auto in sosta, dalla presenza di altri piccoli ostacoli

Piano	N° casi	Media $\Delta LAeq$ (dB)	Dev. st. (dB)
2	14	-0.7	1.6
3	14	-0.8	2.2
4	13	-1.4	2.3
5	7	-4.0	1.9

Tabella A.1 Attenuazione acustica sui diversi piani dell'edificio prospiciente la strada . 62 rilevamenti in 14 strade diverse per configurazione geometrica e flusso veicolare Differenze di $LAeq$ in dB(A) rispetto al 1° piano (misure a 1m dalla facciata)

APPENDICE B: Studio sulla variabilità del traffico urbano

G.Brambilla -CNR Istituto Corbino- ha elaborato dati relativi al traffico veicolare urbano in 40 postazioni di misura in diverse città italiane ottenendo un valor medio dello scarto (deviazione standard) tra il L_{Aeq} orario di ciascun giorno e la media energetica settimanale del livello sonoro in quell'ora: Il risultato è riportato nel grafico successivo. Come si vede la variabilità diurna è più contenuta di quella notturna, i valori dei festivi manifestano una maggiore variabilità di quelli dei feriali. Quest'ultimo dato risente probabilmente della maggiore distanza tra due festivi successivi che produce situazioni meno correlate ad esempio dal punto di vista atmosferico, ma anche della maggiore presenza di situazioni particolari nei giorni festivi (sagre, ricorrenze religiose, ecc).

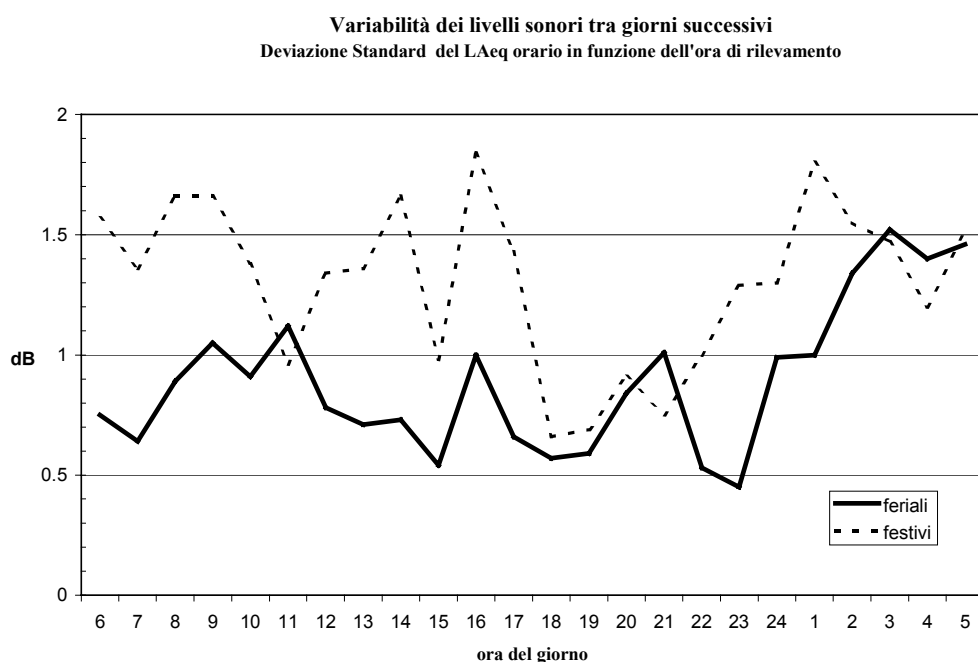


Grafico B.1 andamento della deviazione standard del L_{Aeq} orario in giorni di misura consecutivi

APPENDICE C: Foglio elettronico Excel per l'elaborazione dei dati acquisiti da postazioni mobili di monitoraggio dell'inquinamento acustico

Premessa

La presente appendice riguarda lo sviluppo di un modello per la raccolta e l'archiviazione dei dati di inquinamento acustico, acquisiti mediante postazioni mobili di misura. In particolare, è stato messo a punto un foglio elettronico sul quale salvare le informazioni salienti del rilevamento, e in grado di consentirne una facile archiviazione. I dati vengono organizzati in modo tale fornire una presentazione semplice dei risultati, così da facilitarne la consultazione e la diretta utilizzazione a scopo divulgativo. Il foglio elettronico prevede inoltre l'automazione di alcune operazioni (controllo, elaborazione e archiviazione dei dati) come pure la costruzione di un database. Le seguenti note non contengono tuttavia alcun riferimento agli aspetti strumentali dell'acquisizione dati, presupponendo soltanto la possibilità di esportare le misure in formato file, compatibile con il foglio elettronico in oggetto.

Le funzionalità principali di tale foglio, sono le seguenti:

Elaborazione automatica dei dati “grezzi”, acquisiti dalla strumentazione, finalizzata a determinare il valore dei parametri direttamente confrontabili con i riferimenti di legge. Produzione di un output grafico in grado di facilitare l'esame dei dati raccolti e dei risultati da essi ottenuti.

Stima dell'incertezza associata alla variabilità oraria dei livelli di rumore.

Raccolta dei dati relativi al sito di misura (classificazione acustica dell'area, planimetria in scala del sito, fotografie digitali della postazione, ecc.) nonché alla tipologia della sorgente.

Il foglio è inoltre predisposto per contenere i riferimenti alla pratica collegata. Questo campo è inserito appositamente per consentire il collegamento fra i dati di misura e la procedura amministrativa eventualmente attivata.

Esecuzione automatica del salvataggio e dell'archiviazione, una volta terminata la compilazione dei dati di input richiesti dal foglio. Questa funzionalità, completamente svolta in automatico dal foglio stesso, prevede in particolare l'aggiornamento di un database contenente i dati essenziali estratti da ciascun foglio elettronico; lo scopo principale di tale database è quello di permettere la gestione efficiente degli elaborati, come pure il loro reperimento ipertestuale.

L'obiettivo principale di questo lavoro è quello di fornire un esempio concreto di gestione proceduralizzata dei dati, in vista di un trattamento in qualità degli stessi. Non si intende pertanto fornire un modello standard per formato o tipo di applicazione (Excel) su cui è stato sviluppato, ma semplicemente dare indicazione sulla logica e la prassi che dovrebbero sottendere alla gestione dei dati una volta che questi siano stati acquisiti dalla strumentazione.

Coloro i quali fossero interessati ad una copia del foglio elettronico qui presentato, potranno rivolgersi all'Unità Operativa di Fisica Ambientale del Dipartimento ARPAT di Firenze, presso cui è stata sviluppata tale applicazione.

In futuro, è previsto di rendere disponibile il foglio elettronico sulla rete SINANet, da cui sarà possibile scaricarlo nelle versioni più aggiornate.

Struttura del foglio

Il foglio elettronico(cartella Excel) si compone di alcuni sotto-fogli, con funzionalità specifiche, che nel loro complesso permettono l'esecuzione delle operazioni accennate in premessa. Tale struttura è rappresentata nel diagramma a blocchi sotto riportato, dove il nome di ciascun punto elenco è quello del corrispondente sotto-foglio contenuto nella cartella Excel.

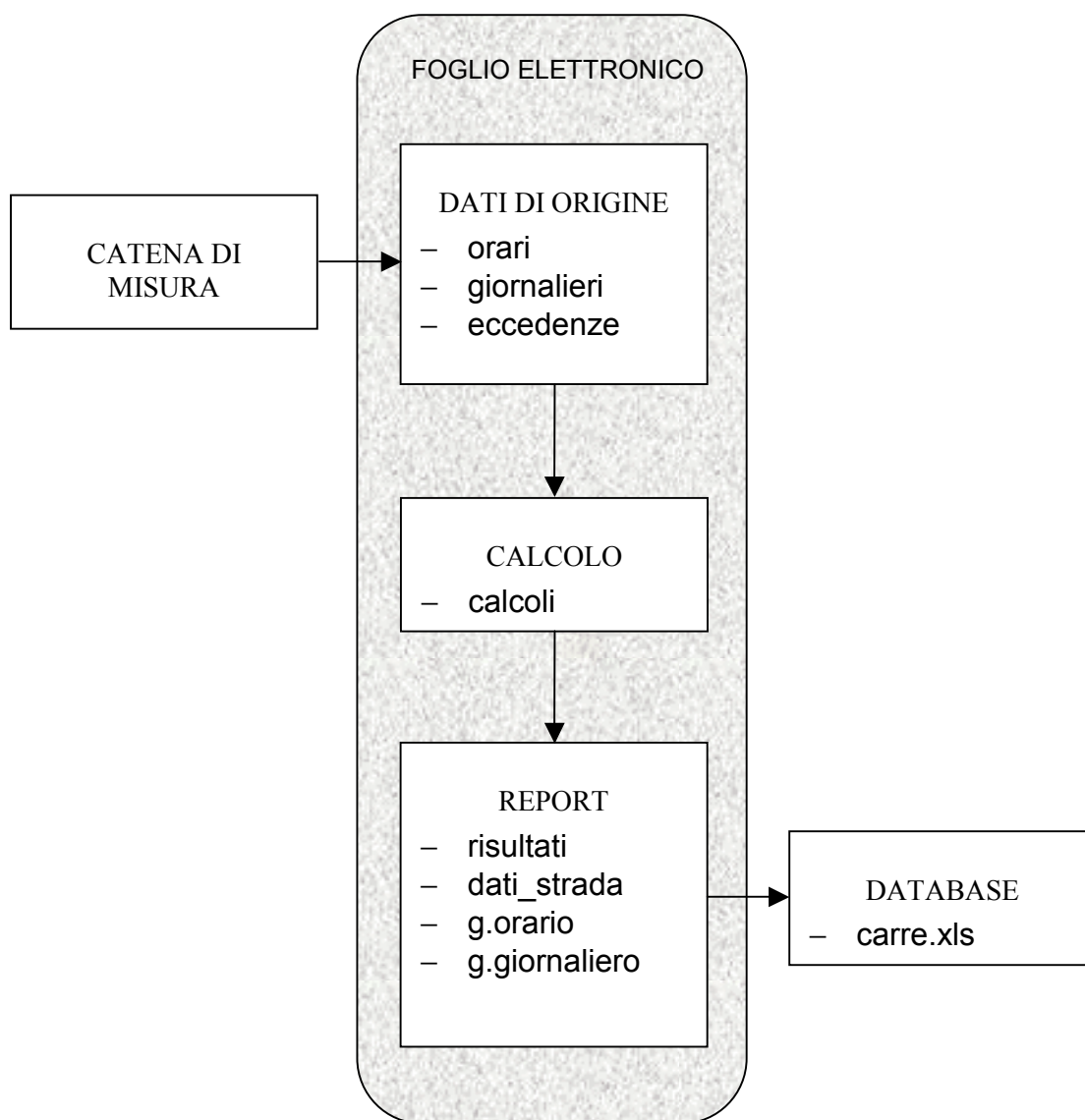


Figura C.1: Schema a blocchi del foglio elettronico

I dati scaricati dalla strumentazione sono previsti essere di tre tipologie: dati acquisiti nell'arco di un'ora (data, ora, durata, Leq, SEL, Lmax, Lmin, L1, L10, L90, L95, L99, *overload*, con $T_m = 1$ h); riferiti al periodo diurno e notturno (data, Leq, LDN, L06-22,

L22-06, L_{max} , L_{min} , con $T_m = 16$ h, ovvero $T_m = 8$ h); eccedenze rispetto a una soglia di livello preimpostata, acquisite quando un evento di notevole intensità ha durata non inferiore a un intervallo di tempo scelto dall'operatore.

Tali dati vengono salvati separatamente in altrettanti fogli, e rispettivamente in *orari*, *giornalieri*, *eccedenze*. Questi, oltre a costituire la base per l'elaborazione, hanno la funzione di conservare nella loro completezza i dati di origine, così come vengono scaricati dalla strumentazione.

Il foglio *calcoli* esegue alcune operazioni sui valori di Leq raccolti, valutando delle quantità mediate sull'intero periodo di misura, tali da fornire indicazione sintetica della rumorosità riscontrata. In particolare, utilizzando i dati del foglio *orari*, vengono determinati i livelli medi orari, come definiti nel Sottoparagrafo 2.5.2 delle presenti linee guida. Il foglio calcola inoltre la *standard deviation* associata a tali valori (Sottoparagrafo 2.5.2) e da questa l'intervallo di confidenza al 90%, ovvero l'intervallo di pari probabilità, entro il quale aspettarsi il risultato di un'eventuale nuova misura condotta alla stessa ora in un qualunque giorno della settimana.

Un'ulteriore funzionalità del foglio *calcoli* è quella di individuare eventuali valori anomali nel *set* di dati acquisiti. Per questo, lo scarto dalla media di ogni Leq orario, viene confrontato con un intervallo di ampiezza pari a due volte la *standard deviation*; in caso risulti maggiore, il dato viene connotato come *anomalo*. In altre parole, il criterio descritto controlla se lo scarto sia spiegato dalla variabilità intrinseca del fenomeno. Attualmente, tale funzione, se pur implementata, non è resa disponibile per la validazione degli eventuali dati anomali da parte dell'operatore; per questo, si prevede un aggiornamento specifico del foglio elettronico che permetta, con procedure automatiche, la scelta di conservare o scartare tali dati.

Infine, un'ulteriore elaborazione svolta in *calcoli*, è quella del Leq diurno e notturno, mediati ciascuno sull'intero periodo di campionamento. In questo caso, i dati di origine utilizzati provengono dal foglio *giornalieri*.

I risultati delle elaborazioni svolte in *calcoli* sono trascritti in modo automatico su alcuni fogli di *report*, dei quali è stato curato l'*editing* per consentirne l'eventuale utilizzazione a scopo divulgativo. Di questi il principale è *risultati*, contenente i valori medi diurno e notturno, nonché le medie dei livelli orari. In quest'ultimo caso, i valori sono rappresentati in forma tabellare (Figura C.2) e mediante un grafico che riporta insieme al dato medio anche la variabilità associata (Figura C.3).

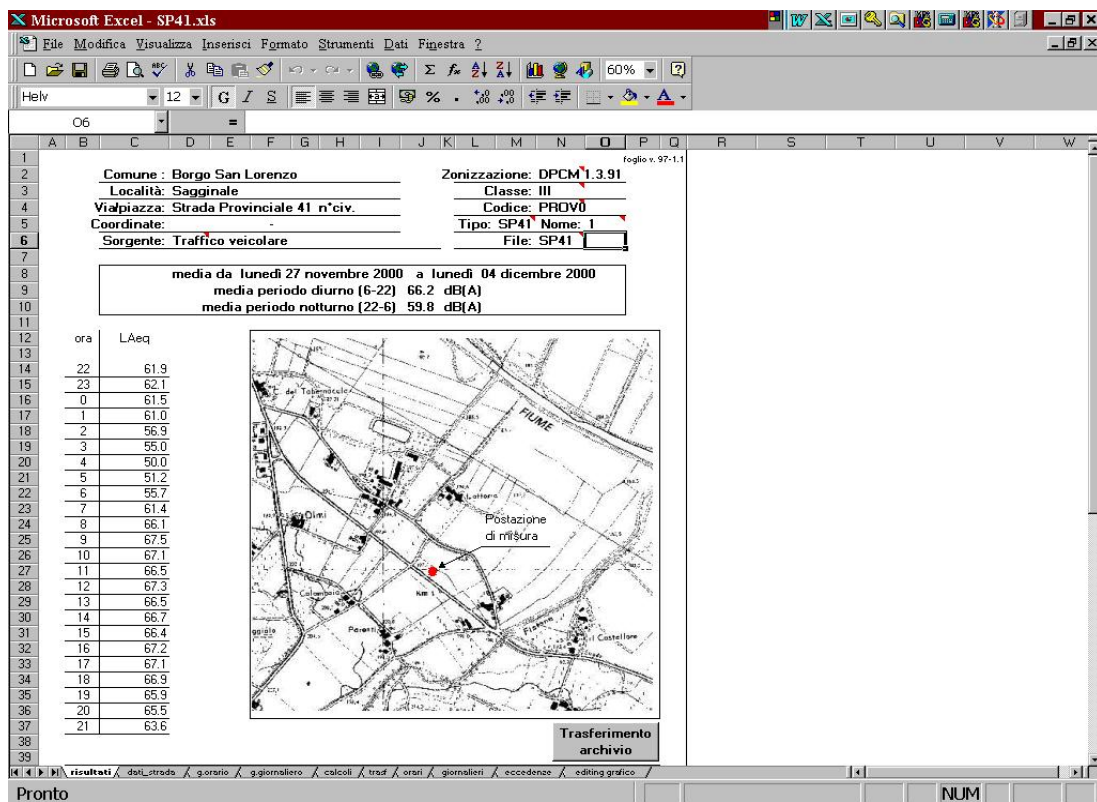


Figura C.2: Foglio *risultati*, parte superiore

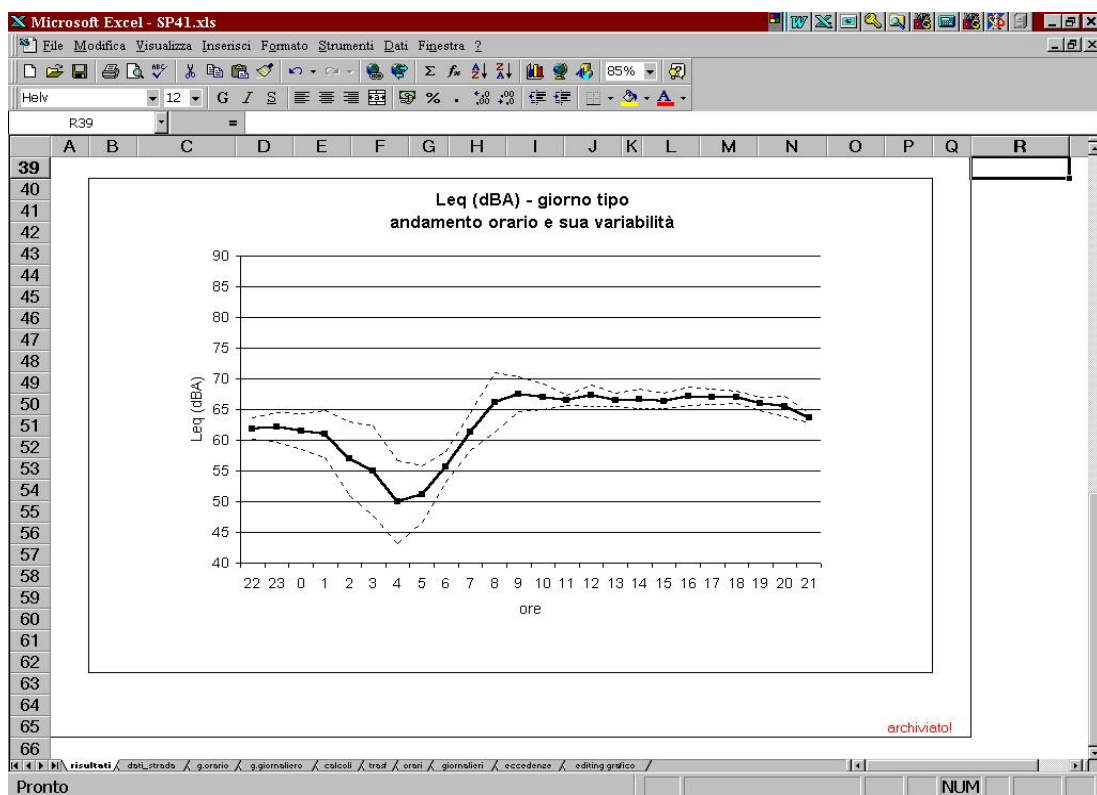


Figura C.3: Foglio *risultati*, parte inferiore

Tale foglio prevede inoltre la compilazione manuale di alcuni campi informativi riguardanti il sito di misura e la sorgente sonora predominante, visibili nella parte alta di Figura C.2. La compilazione del foglio prevede, infine, l'inserimento di un'immagine digitale dell'area oggetto d'indagine, con riportato il punto nel quale sono state eseguite le misure.

Un altro foglio di *report* è stato predisposto nella cartella Excel, per una specifica sorgente di rumore: il modulo *dati_strada*, contiene alcuni campi caratterizzanti l'infrastruttura stradale e il posizionamento della stazione mobile di monitoraggio (Figura C.4).

Quadri analoghi per altre sorgenti (ferrovie, aeroporti, industrie) sono previsti in versioni aggiornate del foglio elettronico, di prossima predisposizione.

I prodotti grafici *g.orari* (Figura C.5) e *g.giornalieri* (Figura C.6) completano la presentazione dei *report* attualmente disponibili con il foglio in oggetto.

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE STRADALE

Lunghezza: _____ (m)
 Larghezza: _____ (m)
 Marciapiedi: x: _____ sx: _____ (m)
 Edifici: x: _____ sx: _____ (SINO)
 Altezza edifici: x: _____ sx: _____ (m)

TIPOLOGIA DELLA STRADA

Contesto: _____ PRG: _____
 Senso di marcia: _____ (112)

POSTAZIONE DI MISURA

Superficie: _____ (SINO)
 Distanza superficie: _____ (m)
 Distanza mezzanotte: _____ (m)
 Altezza carrello: _____ (m)
 Correlazione: _____ (SINO)
 Catena di misura: _____

OPERATORI

Operatore1: _____
 Operatore2: _____
 Operatore3: _____
 Operatore4: _____

foto

Figura C.4: Campi di compilazione manuale, contenuti nel foglio *dati_strada*

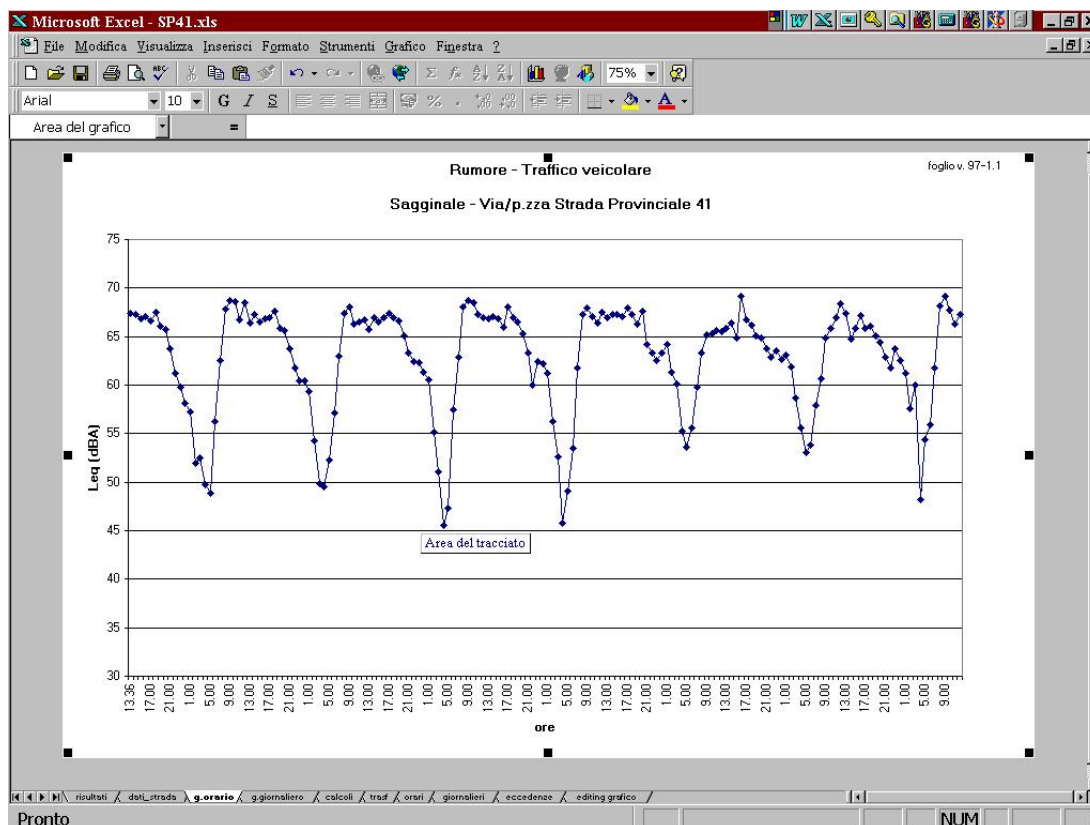


Figura C.5: Foglio *g.orari*

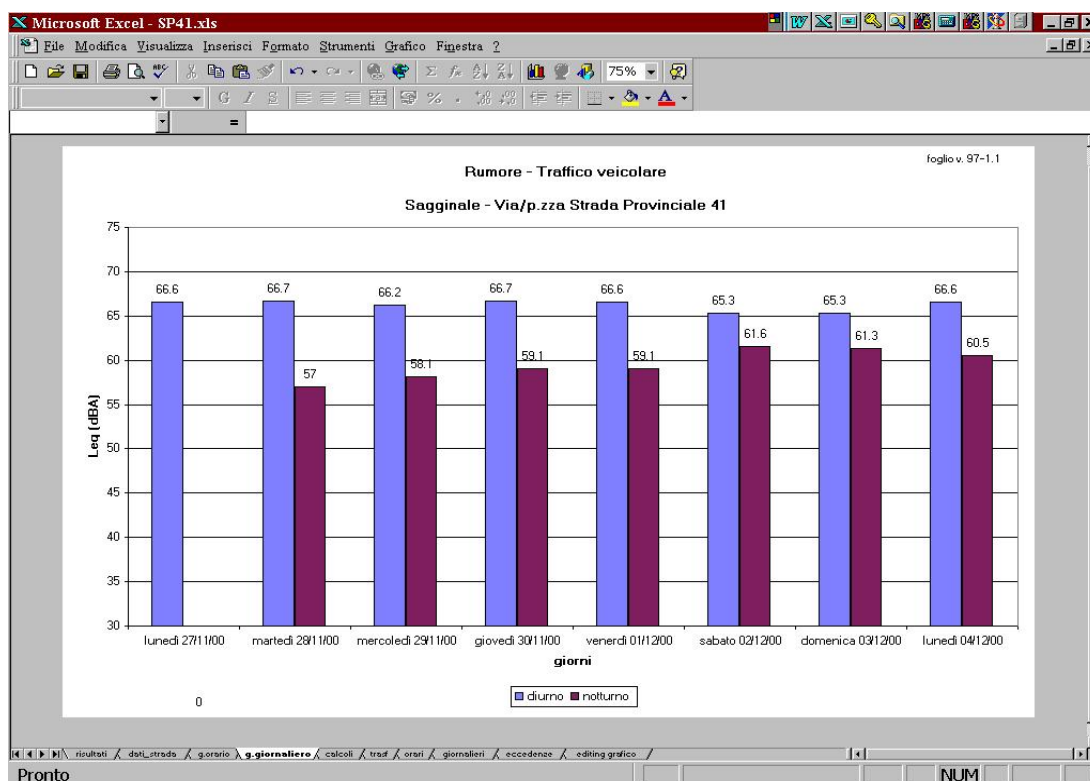


Figura C.6: Foglio *g.giornalieri*

Come si vede dalle figure, il primo diagramma riporta i livelli orari in funzione delle 24 ore , nell'arco dell'intero periodo di misura, e il secondo è un grafico a colonne che rappresenta giorno per giorno i valori dei livelli diurno e notturno. L'inserimento dei dati nei fogli *orari* e *giornalieri*, produce l'immediata visualizzazione dei due grafici, nel formato definitivo; in altri termini, non è necessario apportare ad essi aggiunte, modifiche, o correzioni di tipo manuale, giacché l'*output* grafico è completamente gestito in modo automatico.

Come le altre funzioni, anche la procedura di archiviazione è interamente automatizzata. Per questo, in *risultati*; è presente un pulsante di Excel con su scritto "Trasferimento archivio" (Figura C.2); esso è collegato a una macro la cui esecuzione produce il salvataggio di alcuni dati essenziali (data, comune, località, via, n° civico, Leq medio diurno e notturno, tipo, nome) sul database che si interfaccia con il foglio elettronico (*carre.xls*). Dopo tale trasferimento, la macro produce ogni volta un *backup* del database.

Gli effetti dell'archiviazione sul foglio, sono molteplici; in primo luogo, il pulsante, una volta premuto, viene disattivato per evitare ripetute scritture identiche (*record* doppiati) sul database. Tale disattivazione è immediatamente visibile per un cambiamento di colore del testo sul pulsante (da rosso a nero) e ha come sotto-effetto quello di inserire a piè' di pagina nel foglio *risultati*, la scrittura "archiviato!" (Figura C.3). Questa segnalazione dà certezza dell'avvenuta archiviazione, ovviando così ad ambiguità che potrebbero insorgere nel corso di successive consultazioni del foglio elettronico.

L'esecuzione della macro produce inoltre il salvataggio automatico della cartella Excel in due destinazioni distinte, ovvero nella *directory* di lavoro (per esempio quella della pratica collegata) e presso un ulteriore indirizzo, predisposto per raccogliere indistintamente tutti i fogli elettronici. Questo secondo stoccaggio è concepito in funzione di facilitare il salvataggio periodico degli elaborati su memoria di massa, liberando le capacità della rete.

Le funzionalità del database

Alcuni elementi relativi al database sono già stati forniti nel corso di queste note, basti aggiungere che la gestione dei dati (ricerca e filtraggio) può essere effettuata mediante i comandi che a questo scopo sono già disponibili in Excel, sotto il menù Dati-Filtro.

La Figura C.7 illustra, a titolo di esempio, una schermata dei *record* archiviati.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q
	Data	Comune	Località	Via	n° civ.	Leq. diurno	Leq. notturno	Tipo	Nome	Collegamento		Totale records			
2	19/10/00	Firenze	Firenze	Sestese	ang. Sodo	72.8	67.8	com		foglio.excell		4			
3	17/10/00	Tavarnelle	Tavarnelle	Don Minzo	0	66.4	57.7	COM	0	foglio.excell					
4	27/11/00	Borgo San	Sagginale	Strada Pro	km 1	66.2	59.8	SP41	1	foglio.excell					
5	03/11/00	Sesto Fiore	Osmanori	Lucchese	0	71.2	68.5	SP5	0	foglio.excell					
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															

Figura C.7: Immagine video del database *carre.xls*

Sono visibili i campi utilizzati e alcune funzionalità accessorie come il conteggio dei record (casella O1) il collegamento ipertestuale al foglio elettronico (colonna L) e l'indicazione del driver di archiviazione (casella N2). Esso consente la ricerca sia in rete, nella cartella che raccoglie provvisoriamente tutti i fogli elettronici, sia su memoria di massa, una volta effettuato il salvataggio periodico degli stessi su tale tipo di supporto. Il vantaggio di questo procedimento consiste nella sua flessibilità di utilizzo, ovvero lo stesso database può essere impiegato per gestire archivi di memoria diversificati, semplicemente cambiando nome al *driver* di destinazione.

Gli sviluppi

Validazione dei dati anomali. Prima di procedere all'archiviazione attivandone la macro, è previsto che il foglio richieda di confermare i dati orari risultati anomali. Mediante un'apposita tabella riassuntiva di tali valori, predisposta in automatico dal foglio stesso, l'operatore potrà selezionare quali di questi dati utilizzare per il calcolo delle medie e quali invece scartare. Tale procedura di validazione, se non completata, deve essere in grado di inibire la registrazione sul database, per garantire la qualità del foglio elettronico archiviato.

Controllo della calibrazione e del corretto funzionamento strumentale. Per lo svolgimento di questa funzionalità è prevista la predisposizione di un database che riporti in ordine cronologico gli interventi su ciascuna catena di misura. (Si tratta di schede tecniche in formato elettronico, che riportino i dati di taratura e calibrazione, nonché i periodi di buon funzionamento e non corretto esercizio della strumentazione).

Ad oggi, il foglio è già predisposto per contenere i riferimenti della catena di misura dalla quale provengono i dati utilizzati. Tale codice, trasferito sul database per la gestione dei fogli elettronici, potrà essere incrociato con la data di esecuzione delle misure e con il periodo di corretto funzionamento della strumentazione, contenuto nelle schede tecniche. In altre parole, se la campagna di misura cade nell'intervallo di due calibrazioni successive che scartano fra loro di una quantità inferiore a 0.5 dB, il dato in archivio viene validato, altrimenti rimane traccia sul database (per esempio con una diversa colorazione del record corrispondente a un determinato foglio elettronico). Si prevede di gestire in modo automatico anche tale procedura di validazione, mediante una macro di Excel autoeseguibile, che aggiorna il database ad ogni nuova apertura.

Validazione dei dati sulla base delle condizioni meteorologiche. Questa funzione prevede la disponibilità di dati meteo acquisiti in continuo per l'intero periodo di misura. Tale necessità può essere soddisfatta solo dotando la stazione di monitoraggio anche di una centralina per il rilevamento dei parametri climatici che influenzano la propagazione del suono, o comunque in grado di modificare significativamente il clima acustico della zona (Sottoparagrafo 2.5.3).

Ciò premesso il dato meteo andrà confrontato con i valori desumibili da leggi o normative tecniche specifiche, al fine di conseguire la validazione del singolo Leq orario (per questo è prevista l'implementazione di una procedura automatica nel foglio elettronico).

Relativamente alle condizioni ammissibili, il DM 16/03/98 stabilisce che le misurazioni devono essere eseguite in assenza di precipitazioni atmosferiche, di nebbia e/o neve; inoltre, la velocità del vento deve essere non superiore a 5 m/s.

Un ulteriore riscontro che sarà possibile effettuare, riguarda le caratteristiche tecniche delle apparecchiature. Il codice identificativo della strumentazione (vedi punto precedente "Controllo della calibrazione e del corretto funzionamento strumentale") permetterà di verificare che la catena di misura sia compatibile con le condizioni meteorologiche del periodo in cui si effettuano le misurazioni.

Aggiornamento sulla base della normativa europea. Attualmente, il foglio elettronico è predisposto per valutare il Leq diurno e notturno, mediati su un determinato periodo di misura (una settimana per le strade, non meno di 24 ore per i treni). L'adozione di tali indicatori è prevista dalla normativa italiana (DM 16/03/98) al fine di confrontarne i valori con i limiti fissati. Lo sviluppo dell'applicazione, necessita tuttavia l'inserimento nel foglio dei parametri previsti dalla direttiva europea sull'inquinamento acustico (Paragrafo 2.2). A questa modifica si aggiunga inoltre l'opportunità di inserire alcuni campi liberi per eventuali altri parametri derivati che, se anche non previsti da normative specifiche, consentano domani una più completa caratterizzazione della rumorosità presente nell'area.

Implementazione del foglio per altri tipi di sorgente sonora, oltre le infrastrutture stradali.

Scorporo dei giorni festivi. La differenza che si registra tipicamente fra i livelli di rumore misurati nei giorni feriali della settimana, e quelli riscontrati di sabato e ancor più la domenica (Sottoparagrafo 2.5.2) suggerisce l'idea di caratterizzare distintamente la rumorosità di questi due periodi. D'altra parte, anche la proposta di direttiva europea (2000/0194(COD) del 26/07/2000) dà indicazioni in tal senso. Per questo, il foglio elettronico potrebbe prevedere al suo interno una *routine* che, se attivata, sia in grado di scorporare giorni feriali e festivi, conducendo elaborazioni separate per ciascun gruppo di dati. In definitiva, si può prevedere che il prodotto finale

contenga un pulsante automatico, la cui attivazione (o disattivazione) sia in grado di produrre due tipi di *report*: il primo riportante le medie sull'intero periodo settimanale (versione attuale del foglio) e il secondo con indicato lo scarto del festivo rispetto al feriale (è questo il parametro d'interesse principale, anziché il livello assoluto di rumore).

APPENDICE

Il CTN_AGF nell'ambito della rete SINAnet

Ruolo e struttura dei Centri Tematici Nazionali

Il progetto Centri Tematici Nazionali (CTN) ha avuto inizio nell'ottobre del 1998, nell'ambito delle attività di realizzazione e gestione del Sistema nazionale conoscitivo e dei controlli ambientali (SINAnet), con l'avvio e la realizzazione di 6 CTN prioritari, da sviluppare in collaborazione con le Agenzie regionali.

Il criterio di riferimento per l'individuazione dei primi 6 CTN è stato quello di garantire la corrispondenza con gli *European Topic Centres* (ETC), le strutture che giocano nella rete europea EIONet un ruolo omologo a quello dei CTN nella rete SINAnet.

In tal senso sono stati istituiti i seguenti CTN:

- Atmosfera, Clima ed Emissioni in aria (ACE)
- Agenti Fisici (AGF)
- Acque Interne e Marino costiere (AIM)
- Conservazione della Nature (CON)
- Rifiuti (RIF)
- Suolo e Siti Contaminati (SSC)

I Centri Tematici Nazionali, ciascuno nell'ambito delle aree tematiche di competenza, rappresentano per l'ANPA il necessario supporto per l'attuazione dei compiti che la legge istitutiva le affida in materia di raccolta e gestione dei dati e delle informazioni ambientali e di controllo. In particolare, il supporto riguarda quanto attiene alla definizione di regole per rendere tali attività omogenee su tutto il territorio nazionale e disponibili sulla rete SINAnet, in linea con lo sviluppo di attività analoghe nel contesto comunitario.

In analogia al modello europeo, i CTN sono attuati da compagini di soggetti, uno dei quali, il CTN *leader*, è preposto al coordinamento del progetto. Le compagini sono costituite da ARPA/APPA, con l'integrazione di altri soggetti, le Istituzioni Principali di Riferimento (IPR), che hanno competenze specialistiche in materia di azione conoscitiva per i vari temi ambientali. Per ogni CTN, l'ANPA ha nominato un responsabile di progetto.

Il CTN_AGF

Temi di competenza

- T22 - Inquinamento acustico e da vibrazioni
- T23 - Inquinamento elettromagnetico
- T24 - Radionuclidi artificiali e naturali nella biosfera: modelli relativi alla variabilità spaziale e temporale e metodologie di controllo

Composizione

Responsabile di progetto ANPA: Ing. Salvatore Curcuruto

Responsabile CTN leader: Dr. Pierluigi Mozzo

Leader: ARPA Veneto

Co-leader: ARPA Valle D'Aosta

Altri soggetti: ARPA Piemonte, ARPA Lombardia, ARPA Emilia Romagna, APPA Trento, APPA Bolzano, ARPA Friuli Venezia Giulia, ARPA Toscana, ARPA Liguria