

I progetti europei per la valutazione e la gestione del rumore ambientale: esperienze e sviluppi futuri

Gaetano Licitra¹, Mauro Cerchiai²

¹ARPAT, STEPPAS, Direzione Tecnica, Via N. Porpora, 22 50144 Firenze; g.licitra@arpat.toscana.it;

²ARPAT, Dip. Pisa, Via Vittorio Veneto, 27 56127 Pisa; m.cerchiai@arpat.toscana.it;

RIASSUNTO

La gestione del rumore ambientale è divenuta, con l'avvento della direttiva europea 2002/49/CE, un'importante elemento di cui tener conto nella pianificazione urbana e i modelli numerici di calcolo sono diventati elementi essenziali per la rappresentazione dell'esposizione dei cittadini al rumore e per lo studio di interventi di mitigazione. I modelli a disposizione all'epoca dell'emanazione della direttiva erano basati su studi datati e spesso riflettevano la realtà del paese che li aveva sviluppati e mal si adattano alla descrizione dei mezzi circolanti negli altri Stati Membri. Per questo sono stati cofinanziati dalla Commissione Europea una serie di progetti atti a studiare nuovi e più aggiornati modelli di calcolo, che tenessero conto in maggior dettaglio delle singole sorgenti, della loro variabilità e dove la propagazione a distanza tenesse conto con maggior precisione degli effetti meteo. Inoltre, sono stati finanziati anche progetti che studiassero sia la sensazione di disturbo associata al rumore, che nuove soluzioni alla sorgente per l'abbattimento dei livelli di rumore. Nel presente lavoro sono riassunti i principali obiettivi ed i risultati ottenuti in alcuni dei più significativi di questi progetti.

INTRODUZIONE

L'inquinamento acustico rappresenta ancora uno dei principali interessi per la società di oggi ed il rumore generato dalle infrastrutture di trasporto è una delle sorgenti principali di questo interesse. Accettando la mobilità come necessità primaria per lo sviluppo e la crescita nondimeno è possibile cercare di ridurre gli effetti negativi che possono derivare dal rumore generato dalle infrastrutture, sempre più intenso col passare degli anni, in seguito all'intensificarsi del traffico.

Con l'introduzione della Direttiva 2002/49/CE (nel seguito END) e la sua progressiva adozione da parte degli Stati Membri è diventata obbligatoria sia la produzione di mappature acustiche strategiche per gli agglomerati urbani e le infrastrutture di trasporto che la redazione dei correlati piani d'azione relativi spesso a vaste aree di territorio.

Ciò ha richiesto l'uso di software e modelli matematici che permettessero di descrivere in modo sempre più adeguato i livelli di rumore prodotti da infrastrutture di trasporto o attività antropiche.

Per questo motivo la Commissione Europea ha creato il progetto "CALM II" ("Coordination of European research for Advanced Transport Noise Mitigation", Programma di Azione di coordinamento finanziato dalla Commissione Europea all'interno del 6° Programma Quadro della Comunità Europea, programma n. TCA4-CT-2005-516237, Nov. 2004- Ott. 2007, sito: www.calm-network.com) che aveva come scopo un coordinamento esteso e multisettoriale della ricerca Europea nel settore del rumore da infrastrutture di trasporto, con il coinvolgimento di tutti i principali diretti interessati. Il progetto è nato con lo scopo di coordinare le attività di ricerca, facilitare lo scambio di informazioni fra le organizzazioni e la loro divulgazione al pubblico.

Uno dei risultati del progetto è stato il censimento dei progetti europei nel campo del rumore ambientale (riassunto in [1]), che fornisce una panoramica delle principali attività di ricerca finanziate dalla Commissione Europea (sia all'interno del 6° Programma Quadro che precedentemente ad esso), svolte o completate dopo il 1999. La Commissione negli ultimi anni ha avvertito, in particolare, la necessità di aggiornare o migliorare i modelli matematici a disposizione e quindi sono stati finanziati alcuni progetti volti a creare nuovi e più moderni metodi di calcolo (HARMONOISE, IMAGINE) o a svilupparne l'uso garantendo la disseminazione dei risultati (IMAGINE, QCITY, SILENCE, solo per citarne i principali).

Nel seguito, dopo una breve presentazione dei modelli previsti dalla END, verranno analizzati in parte alcuni risultati ottenuti con i principali progetti europei ed i modelli matematici sviluppati nel loro ambito.

I MODELLI E LE MAPPATURE PREVISTE PER LA END

La normativa END (nell'Allegato II)[2] e la Raccomandazione 2003/613/CE del 6/8/2003 [3] indicano i metodi provvisori di calcolo per la determinazione dei descrittori L_{DEN} e L_N per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario per gli Stati Membri che non dispongono di un metodo nazionale di calcolo e per quelli che desiderano cambiare il metodo di calcolo.

In particolare sono raccomandati i seguenti modelli:

- per il rumore del traffico veicolare: metodo di calcolo ufficiale francese «NMPB-Routes-96» (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)[4];
- per il rumore ferroviario: metodo di calcolo ufficiale dei Paesi Bassi (denominato dalla direttiva RMR II) pubblicato in [5];
- per il rumore degli aeromobili: il metodo ECAC doc. 29, descritto in [6].

ADEGUAMENTI NECESSARI AL MODELLO RMR II PER LA END E PROBLEMATICHE APERTE

Alcuni adeguamenti sono necessari per implementare il modello secondo quanto richiesto dalla END.

- *Descrittori*: il metodo RMR calcola livelli acustici equivalenti, ma non livelli acustici equivalenti a lungo termine secondo la norma ISO 1996-2:1987. Quindi, è necessario disporre dei dati medi per tipologia di treno, per anno di osservazione, ed occorre introdurre i periodi di misurazione giorno, sera e notte.
- *Influenza delle condizioni meteorologiche*: i livelli medi a lungo termine sono calcolati prendendo in considerazione il fattore di correzione meteorologica C_M (dove C_0 è fissato a 3.5 dB) (secondo le definizioni presenti nella ISO 9613-1).
- *Assorbimento atmosferico*: la tabella 5.1 del metodo RMR riporta l'attenuazione atmosferica in funzione dei coefficienti di temperatura e di umidità relativa. In talune situazioni particolari in determinati Stati Membri può essere necessario adeguare tali coefficienti.
- *Descrizione delle sorgenti*: il modello RMR fornisce la possibilità di definire e utilizzare una rugosità media nazionale, da utilizzare per la definizione della sorgente binario. Il modello dà, inoltre, la possibilità di correggere l'emissione di binario tramite l'adeguamento della rugosità fra quella predefinita e quella misurata su un tratto test, tramite una correzione dello spettro di emissione. Permane, però, la difficoltà di separare il contributo del rotolamento dovuto ai vagoni da quello del binario, utilizzando esclusivamente la tecnica, prevista dal modello stesso, del veicolo silenzioso di riferimento.

ADEGUAMENTI DEL MODELLO NMPB-96 NECESSARI PER LA END

Anche in questo caso sono necessari alcuni adeguamenti per implementare il modello secondo quanto richiesto dalla END.

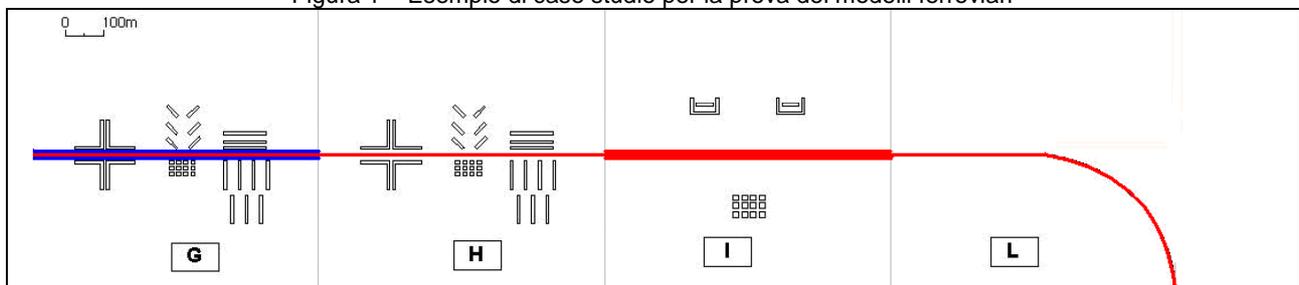
- *Descrittore acustico*: occorre introdurre i descrittori acustici comuni, fra cui i tre periodi di misurazione giorno, sera e notte, a norma della direttiva 2002/49/CE.
- *Descrizione della sorgente*: i dati di emissione alla sorgente riportati nella «Guide du Bruit», devono essere adeguati ed aggiornati per introdurre le correzioni relative alle superfici stradali e ai veicoli attualmente presenti nei singoli Stati Membri.
- *Influenza delle condizioni meteorologiche*: occorre definire la percentuale di incidenza di condizioni favorevoli sul territorio indagato.
- *Assorbimento atmosferico*: occorre avere a disposizione i dati a livello nazionale per costituire una tabella del coefficiente di attenuazione atmosferico in funzione della temperatura e dell'umidità relativa tipiche nelle diverse regioni europee interessate, a norma ISO 9613 parte 1.

REVISIONE CRITICA DEI MODELLI

L'aspetto chiave della direttiva END è quello di produrre una mappatura strategica del rumore, informare la popolazione, sviluppare piani d'azione e strategie a lungo termine di gestione del rumore.

Allo scopo di fornire risultati globali di validità europea (ovvero rispondere alla domanda su quante persone sono esposte in Europa ad un certo livello di rumore) è necessario che le mappature acustiche prodotte con i vari modelli (nazionali o ad interim) diano risultati equivalenti. Quindi, in attesa di un unico modello di riferimento europeo, il Joint Research Center di Ispra della Commissione Europea ha concluso uno studio per la verifica dei metodi utilizzati dagli Stati Membri nella prima fase di generazione delle mappe strategiche di rumore prevista dalla END.

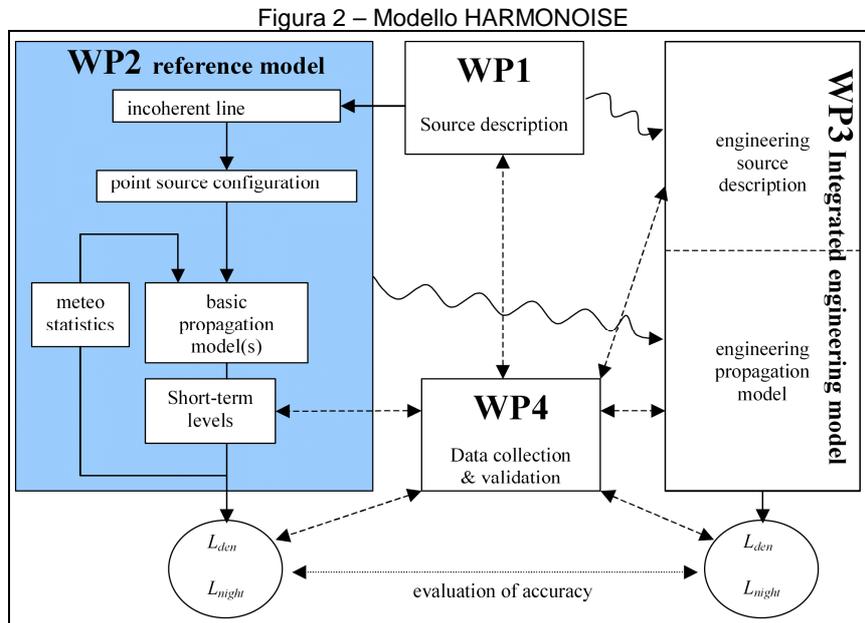
Figura 1 – Esempio di caso studio per la prova dei modelli ferroviari



Caso di studio ferroviario con curva - In nero sono riportati gli edifici, in blu le barriere, in rosso i binari.

Sono stati predisposti dei casi di studio (suddivisi per tipologia di sorgente, rappresentanti situazioni morfologiche e abitative tipiche del contesto europeo- in figura 1 è riportato un esempio per la prova dei modelli afferenti il rumore ferroviario) cui sottoporre i vari modelli nazionali per verificare la consistenza e l'equivalenza dei risultati su una base comune, oggettiva ed imparziale [7]. I risultati, una volta acquisiti, serviranno per avere informazioni sulla comparabilità dei risultati forniti alla Commissione Europea e permetteranno di comparare l'esposizione al rumore nei vari Stati Membri.

Contestualmente è iniziata anche una revisione critica dei modelli ad interim destinata a produrre una nuova versione della END, ove, fra l'altro, verranno indicati i modelli che dovranno essere obbligatoriamente utilizzati per le future revisioni delle mappature acustiche, sia strategiche che derivanti dai piani d'azione previste dalla END a cadenza quinquennale.



Struttura del modello HARMONOISE. È indicato il contributo dei workpackage afferenti il progetto al modello.

IL MODELLO HARMONOISE

Il progetto HARMONOISE [8] aveva fra i suoi obiettivi quello di produrre un modello di calcolo di riferimento per il rumore prodotto sia dalle infrastrutture di trasporto che per le sorgenti industriali. Un altro obiettivo era quello di costruire un algoritmo moderno e preciso per il calcolo della propagazione a distanza del rumore, che tenesse conto sia degli effetti meteorologici che delle caratteristiche fisiche del terreno e dei vari ostacoli lungo la via di propagazione. In figura 2 è riportato lo schema generale della struttura del modello HARMONOISE costruito nell'ambito del progetto, con il contributo apportato al suo sviluppo da alcuni workpackage costituenti il progetto.

Il modello è stato accompagnato da una serie di misure preliminari, atte a verificare i risultati derivanti dalla propagazione a distanza e dagli effetti meteo, condotte sia in Francia che in Germania.

Nell'ambito del progetto sono stati sviluppati due modelli: uno di riferimento, più accurato e più complesso, adatto per calcoli relativi a situazioni locali e particolari, ed uno ingegneristico più semplificato, adatto alla mappatura acustica di grandi aree, come richiesto dalla END. Il modello di riferimento è basato sulle più attuali e accurate tecniche scientifiche teoriche come BEM (Boundary Element Method), Meteo-BEM, l'uso di equazioni paraboliche per la propagazione, modelli di impedenza per il terreno. L'obiettivo era quello di avere un riferimento con cui confrontare un metodo semplificato, il modello ingegneristico, che poi sarà lo standard da utilizzare dai programmi commerciali per le attività previste dalla direttiva.

Quest'ultimo può funzionare con un numero di dati in ingresso più ridotto, essendo fornito di valori predefiniti per i vari parametri necessari al calcolo. Il modello ingegneristico è stato validato tramite confronto con il metodo di riferimento in più di 1550 casi, con misure fino a 1200 m dalla sorgente.

Per quanto riguarda le condizioni meteo, nel caso di mappature acustiche la condizione meteorologica di riferimento è quella corrispondente alla propagazione con gradiente della velocità del suono positivo e verticale, con specifiche correzioni per i tre periodi stabiliti da END. Le correzioni dipendono dall'occorrenza relativa di tale condizione nei rispettivi periodi, indipendentemente dalla direzione di propagazione, dalle altezze della sorgente e dei ricettori e dalla loro reciproca distanza.

Una maggiore accuratezza nei risultati richiede la conoscenza delle condizioni del vento per il calcolo dell'occorrenza di ogni cammino di propagazione e la composizione delle condizioni favorevoli con quelle neutre. Il numero di possibili condizioni meteo è 19.

Sono state altresì formalizzate una serie di tecniche di misura, adottate e per certi versi standardizzate, per la misura delle caratteristiche delle infrastrutture stradali (CPX, SPB, Adrienne, determinazione del contributo di rotolamento e di motore) e ferroviarie (rugosità dei binari, determinazione delle sorgenti e loro emissione per i vagoni) al fine di costruire un database di sorgenti da poter essere utilizzato in ingresso ai due tipi di modelli. Questo database è stato solo in parte costruito e popolato con dati, esclusivamente per le

sorgenti stradali e ferroviarie.

Sono state eseguite misure di propagazione del suono con reti di centraline di monitoraggio in vari siti europei (sia in presenza di infrastrutture lineari che in loro assenza) ed è stata fatta una complessa campagna di validazione dei risultati.

Quello che non è stato fatto è costruire tutti i modelli di sorgente necessari: infatti, il progetto si è concluso con la sola definizione del modello ferroviario e del modello stradale e con una serie di stime sull'incertezza complessiva ottenuta a media e grande distanza dalle sorgenti.

VANTAGGI DEL MODELLO HARMONOISE

Il procedimento utilizzato introduce un modello fisico di sorgente, molto più accurato di quelli previsti da altri modelli (si considerano sottosorgenti diverse per diverse tecniche di eccitazione). Questo include le più recenti tecniche di separazione di sorgente per il traffico stradale e ferroviario, considera differenti condizioni operative (accelerazioni/decelerazioni, superfici stradali, rugosità della ruota/binario, correzioni di tratta).

Utilizza un unico modello di propagazione per entrambe le tipologie di sorgenti (stradale e ferroviaria), separato dalla definizione della sorgente e adattabile anche ad altre sorgenti. Il modello di propagazione utilizza l'analisi tramite suddivisione in zone di Fresnel per una più accurata modellizzazione delle riflessioni. Inoltre non risente delle discontinuità dovute ad imperfezioni nel modello geografico e cerca di ridurre la mancanza di informazioni sul DGM tramite speciali tecniche d'interpolazione del terreno, al fine di evitare salti di quota artificiali. Considera gli effetti meteorologici come: direzione e velocità del vento, gradienti di temperatura. Possiede un unico motore di calcolo per tre livelli di applicazione: studio dettagliato, indagine e mappatura acustica. A tale motore corrispondono due modelli, come sopra descritto, uno accurato e di riferimento ed uno ingegneristico supportato a sua volta dai metodi di riferimento su cui è basato l'unico motore di calcolo (ovvero il modello ingegneristico non è una scatola nera).

Un'altra caratteristica è che il modello HARMONOISE è stato validato con campagne di misura di durata equivalente a 5 anni di monitoraggio, con misure in 3 nazioni europee (Italia, Francia e Germania).

Per quanto riguarda i risultati, fornisce analisi in 1/3 d'ottava da 25Hz a 10KHz, con un'accuratezza (deviazione standard) di 1 dB a 100 m, 2 dB a 2000 m con terreno piatto o dietro la prima fila di abitazioni; 5 dB a 2000 m, in presenza di terreno collinare o dietro la seconda fila di abitazioni.

Indubbiamente, oltre che i vantaggi sopra riportati, occorre sottolineare anche il seguente limite: mentre per il traffico stradale è fornito un database predefinito, al momento non ne è disponibile uno per il traffico ferroviario (la validazione è stata effettuata solo per un caso speciale).

IL PROGETTO IMAGINE

Partendo laddove il progetto HARMONOISE si era fermato, il progetto IMAGINE [9] ha cercato di completare e integrare quanto in precedenza fatto, sia per quanto riguarda la modellizzazione delle sorgenti che lo studio della propagazione a distanza con effetti meteorologici.

Al suo interno, sono stati in parte aggiornati gli algoritmi di calcolo necessari al calcolo dei livelli L_{DEN} al ricevitore, migliorando, ad esempio, gli algoritmi di propagazione, adattandoli all'uso pratico all'interno dei software previsionali. È stato preso in considerazione l'uso di sistemi GIS per la mappatura acustica e acustica strategica, sono state trattate tecniche per la stima della popolazione esposta. È stato, inoltre, adattato il modello di propagazione per il calcolo in presenza di sorgenti aeree ed industriali.

Per quanto riguarda le sorgenti, la vera rilevante innovazione è stata la formalizzazione di un modello acustico per il rumore aeroportuale e per quello industriale (non considerati da HARMONOISE). Inoltre, sono state ampliate le basi di dati associate alle sorgenti stradali e ferroviarie e sono stati introdotti modelli trasportistici per i flussi di traffico, al fine di migliorare i risultati prodotti dalle procedure implementate dal modello ingegneristico di HARMONOISE per la mappatura acustica richiesta dalla END.

SORGENTE STRADALE

Il modello di sorgente stradale prodotto rappresenta l'emissione media europea di un veicolo stradale, ed è più adatto di altri modelli di sorgente alla mappature previste dalla END. Infatti, esso è basato su campagne di misura recenti svolte in vari paesi europei, fornendo quindi una rappresentazione attuale del parco circolante (ricordiamo che il modello NMPB è basato su indagini dei primi anni '90, il modello RLS90 su indagini di metà degli anni '80, il modello olandese su campagne di fine anni '90). Tali campagne hanno posto una speciale attenzione anche ai veicoli a due ruote o ai mezzi pesanti, accumulando grosse quantità di dati laddove in passato non esistevano invece che poche ed incomplete informazioni. Inoltre sono stati determinati anche dei fattori correttivi locali sia per il parco circolante dei veicoli che per le più diffuse superfici stradali.

MODELLO DI TRAFFICO

I modelli di traffico sono necessari perché è impossibile costruire una mappa acustica del rumore stradale

senza conoscere come i flussi si distribuiscono nelle varie strade afferenti l'area d'indagine. Inoltre nel caso dei piani d'azione il modello di traffico può aiutare ad effettuare le scelte necessarie per la riduzione dei livelli ai ricettori.

Il modello HARMONOISE fornisce il livello al ricettore emesso da un singolo veicolo di categoria definita che si muove su un arco nello spazio ad una velocità nota. Nella realtà il rumore stradale è generato da un insieme di veicoli di varie tipologie, che fluiscono (anche caoticamente) su strade con velocità comprese in intervalli dipendenti da punto a punto dal flusso stesso, dal tipo di intersezioni con le altre strade, dalla presenza di ostacoli e così via. Chiaramente il rumore emesso in queste condizioni è essenzialmente diverso da quello di un flusso ordinato di veicoli eguali a velocità fissa.

Inoltre, risulta molto difficile prevedere l'andamento nel tempo dei flussi di traffico, dipendendo quest'ultimo da fattori come la destinazione d'uso dell'area oggetto d'indagine, la presenza di ostacoli periodici al deflusso ordinato dei veicoli (ad esempio fiere, mercati rionali, eventi sportivi, manifestazioni). Questo ha quindi ripercussioni anche sul calcolo dei livelli a *lungo termine* L_{DEN} e L_{Night} richiesti dalla direttiva, che invece dovrebbero essere rappresentativi della media annuale delle condizioni di rumore esistenti.

All'interno del progetto IMAGINE è stato effettuato uno studio [10] sugli effetti che fluttuazioni di flussi di traffico possono avere sui livelli di rumore, così come è stato migliorato il modello HARMONOISE perché tenesse conto dell'emissione non più di un insieme di singoli veicoli ma di un flusso aggregato con una composizione statisticamente nota di veicoli, provvedendo se necessario ad aggregare i dati di flussi in modo da fornire i risultati per periodo di tempo.

Sono stati valutati quindi i principali modelli di traffico esistenti, valutandone la complessità d'uso (quantità di dati necessari in ingresso per produrre su un grafo in uscita le tre informazioni flusso-tipologia-velocità che devono essere fornite in ingresso al modello di rumore) in funzione di una richiesta accuratezza dei risultati, della tipologia di mappatura richiesta (per il calcolo del rumore su strade principali, o per la mappatura di agglomerati o per la redazione dei piani d'azione). È stata altresì valutato il metodo per aumentare la precisione del modello di traffico e come questo influisce sui dati necessari al modello stesso.

Qualora non fossero presenti i dati di traffico e non si disponesse di modelli di calcolo per i flussi, sono suggerite delle tecniche di misura (Statistical Pass-By) per le arterie principali e comunque viene richiamata la G.P.G. V.2 [11] per la stima dei parametri non conosciuti riguardanti il rumore stradale.

MODELLO DI SORGENTE FERROVIARIA

Nell'ambito sia di HARMONOISE che di IMAGINE, la rugosità combinata della rotaia e della ruota è il fulcro del modello ferroviario per la parte di rumore da rotolamento. Questo porta ad un forte miglioramento dell'accuratezza del modello anche perché la rugosità localizzata del binario può portare a variazioni della rumorosità ferroviaria fino anche a 20 dB(A). E' da notare che molti modelli nazionali includono già dati sul rumore di rotolamento complessivo (ovvero contributo combinato di materiale rotabile + rumore di binario).

Nel modello di rumore ferroviario il contributo al rumore di rotolamento del binario è separato da quello della ruota. Inoltre, il modello considera anche tutte le altre potenziali sorgenti di rumore: elementi della trasmissione (impianto di raffreddamento, di scarico, compressori), rumore degli impianti di frenatura (compresi gli stridii di frenatura), stridio in curva, rumore aerodinamico. Il livello di dettaglio nella descrizione delle sorgenti è di gran lunga superiore a quello degli altri modelli ferroviari e permette di suddividere la generazione del rumore in sottosorgenti localizzate. Questo a sua volta permette la valutazione degli effetti di mitigazione di interventi applicati alle sottosorgenti. E' possibile, quindi, valutare nei piani d'azione se la principale fonte di rumore è il binario o il convoglio e quindi pianificare al meglio gli interventi (miglioramento del parco circolante o interventi diretti ai binari) anche al fine di individuare le responsabilità nel superamento dei limiti (gestore dei convogli o della linea).

All'interno del progetto sono stati sviluppati un database di sorgenti e le relative procedure di acquisizione ed immagazzinamento dei dati, in modo da fornire un metodo standardizzato sia per accedere ai dati giusti sia per aggiungere nuovi dati (attualmente contiene dati riferiti a Francia, Paesi Bassi, Svezia, Ungheria, UK per varie configurazioni e velocità operative). Nel database sono anche presenti valori di default. E' stata inoltre predisposta una guida su come acquisire le informazioni per permettere l'inserimento di nuovi dati relativi a materiale che non sia già presente nel database. Questo database contenente dati riguardanti materiale ferroviario di molti paesi Europei, precedentemente non disponibile, rappresenta un significativo miglioramento nella conoscenza e nell'armonizzazione della modellazione del rumore da traffico ferroviario.

MODELLO DI SORGENTE INDUSTRIALE

Questa parte, originariamente non trattata nel progetto HARMONOISE, a differenza delle due precedenti tipologie di sorgenti, rappresenta un grosso passo in avanti nella modellazione del rumore per la redazione delle mappe acustiche.

Il rumore industriale è di natura diversa rispetto a quello delle infrastrutture di trasporto, di solito è caratterizzato da poche sorgenti disposte spesso in modo complesso spazialmente. Queste sorgenti

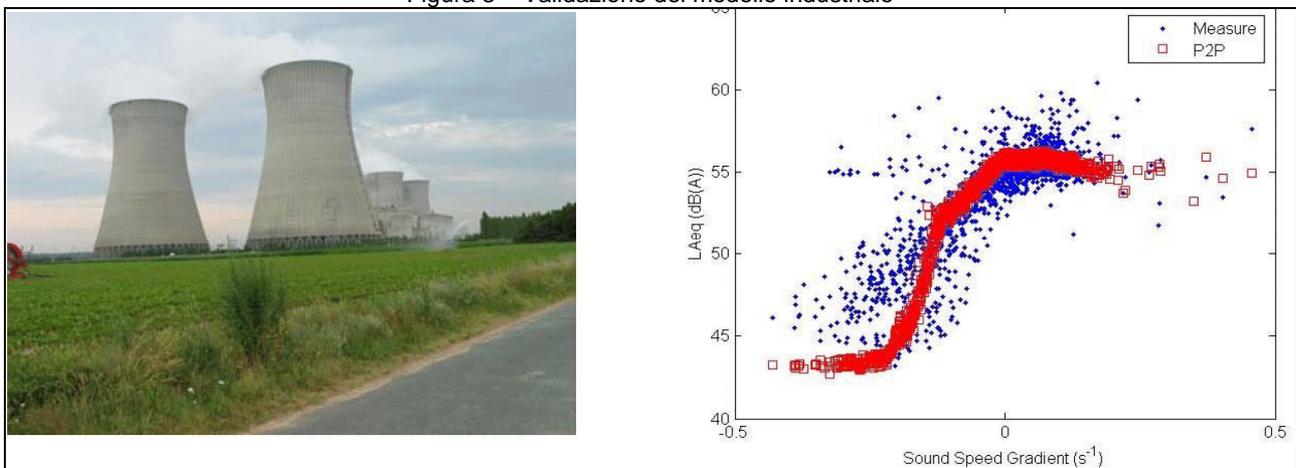
possono essere comuni a più tipi di industrie, ma il loro uso all'interno dei singoli stabilimenti può variare in tempi di esercizio, livello di manutenzione, modalità operative, per cui sorgenti comuni possono generare livelli di rumore su lungo periodo molto diversi fra loro. Per questo motivo spesso è meglio non solo conoscere le sorgenti, ma soprattutto misurarle per poter avere informazioni più realistiche sull'emissione (e l'immissione) associate al complesso industriale.

Nel documento [12] sono presentate una serie di metodiche di misura per caratterizzare i livelli di potenza di macchinari e aree presenti nei siti industriali. Nel progetto è stato inoltre elaborato un database contenente una grande varietà di sorgenti (oltre 1500) basato sia su misure che su formule.

A differenza della ISO9613-2 prevista dai metodi ad interim la parte meteorologica, sfruttando lo stesso motore di calcolo per la propagazione visto per le altre sorgenti, sviluppato in HARMONOISE e migliorato dentro IMAGINE, è molto più approfondita, permettendo di includere nel calcolo al ricevitore anche le condizioni meteo e permette inoltre di produrre livelli L_{DEN} e L_{Night} medi annui come richiesto dalla END.

In figura 3 è riportato un esempio tratto della campagna di validazione della metodica per il calcolo del rumore industriale (emissione di una centrale nucleare).

Figura 3 – Validazione del modello industriale



Validazione del modello ingegneristico di propagazione applicato a sorgenti industriali - sito nucleare di Calmart – a destra il confronto fra i valori misurati e calcolati di attenuazione in eccesso in funzione del gradiente lineare equivalente di velocità del suono.

MODELLO DI SORGENTE AEREAUTICA

Il modello ad interim (ECAC-29) è basato sulle linee guida di modellazione integrata definite dall'ECAC (European Civil Aviation Conference), ove le sorgenti di rumore (motori e rumore aerodinamico) e la propagazione sono combinate insieme in curve di tipo Rumore-Potenza-Distanza (Noise-Power-Distance – NPD) prodotte per ognuna delle due fasi di volo: atterraggio e partenza. Ma questo metodo ha una serie di mancanze: non tiene conto della direttività delle sorgenti aeronautiche in funzione delle varie condizioni operative; non tiene conto dei gradienti di temperatura né di altri aspetti meteo (importantissimi per sorgenti come quelle aeronautiche che si spostano da terra fino a quote importanti, sorvolando le città e quindi in condizioni dove gli aspetti di propagazione sono molto più complessi degli altri casi di infrastrutture di trasporto); infine, non tiene conto delle caratteristiche del terreno né degli effetti dei rilievi (colline, montagne) lungo il percorso fra sorgente e ricevitore.

Nel modello IMAGINE sono stati quindi presi in considerazione tutti questi aspetti (gli ultimi due di fatto già presenti nel motore di calcolo per la parte propagativa), permettendo una migliore analisi del rumore emesso lungo le rotte aeree e nelle varie fasi di decollo-atterraggio.

Il lavoro svolto nel progetto è consistito sia in misure ad hoc che in retroingegnerizzazione dei dati NPD. Dal punto di vista dei calcoli l'aeroplano è modellizzato come una sorgente puntiforme dotata di spettro di direttività tridimensionale per tenere in considerazione dei differenti contributi di sorgente apportati da turbine, motori, jet o gli effetti dei profili aerodinamici.

MIGLIORAMENTO DEL MODELLO DI PROPAGAZIONE

I modelli ad interim utilizzano di solito un algoritmo semplificato per il calcolo della propagazione insito nel modello stesso. Spesso viene lasciata dai modelli (sia nazionali che ad interim) molta libertà di scelta su come adattare le situazioni reali agli algoritmi presenti e questo comporta che diverse implementazioni commerciali degli stessi modelli possano portare a soluzioni (e quindi risultati) con differenze anche di 5÷10 dB(A) fra loro, ovvero vi è una bassa riproducibilità dei risultati in funzione dell'implementazione dell'algoritmo di calcolo.

Il modello HARMONOISE modella esplicitamente i cammini di propagazione geometricamente (tenendo conto di ostacoli, riflessioni, diffuzioni e anche di differenti condizioni di propagazione generate da gradienti di temperatura, vento ecc.). Per questo motivo non viene lasciata libertà di interpretazione dei dati in ingresso ai produttori software e questo comporta una miglior riproducibilità dei dati.

Il progetto IMAGINE a sua volta fornisce un insieme completo ed esplicito di specifiche per il modello geometrico (ovvero i dati) sul quale operano i metodi (ovvero gli algoritmi) del motore di calcolo sottostante. Queste specifiche definiscono per l'utente finale le modalità di raccolta dei dati necessari per la costruzione del modello geometrico alla base del calcolo di propagazione.

Sempre all'interno del progetto è stata condotta un'analisi sulla sensibilità del metodo, ovvero è stato investigato il legame fra la qualità (dettaglio) e accuratezza dei dati in ingresso e l'accuratezza attesa dei risultati.

ESPERIENZE SUCCESSIVE

Parallelamente ai progetti precedentemente descritti (IMAGINE e HARMONOISE), maggiormente legati alle problematiche su come realizzare le mappature acustiche richieste dalla END, altri progetti cofinanziati dalla Commissione Europea all'interno del 6° Programma Quadro sono stati portati avanti con lo scopo di ricercare soluzioni per il controllo e l'abbattimento del rumore generato da infrastrutture di trasporto.

I principali progetti in quest'ambito sono SILENCE e QCITY, strutturati in modo da essere complementari uno dell'altro, così come lo erano HARMONOISE e IMAGINE.

Il primo si sofferma sulle misure di mitigazione contro il rumore generato da strade e ferrovie, includendo le varie sorgenti partecipanti alla sua generazione, ed è orientato su misure e ricerche a più grande respiro.

Il secondo è più orientato al problema del risanamento dell'infrastruttura nel suo complesso ed all'interpretazione della percezione sulla gravità della situazione rappresentata dalle mappe acustiche.

IL PROGETTO SILENCE

Lo scopo di SILENCE [13] (figura 4.a) è quello di fornire le migliori tecnologie possibili per il controllo del rumore emesso da strade urbane e da ferrovie. Il progetto (che ha avuto molti partner anche italiani) ha coinvolto sia autorità cittadine che operatori del trasporto pubblico (fra cui alcuni grandi gestori ferroviari europei), istituti di ricerca scientifica e ingegneristica, associazioni europee, costruttori di veicoli (tra i quali molti fra i maggiori costruttori di auto europee), fornitori di attrezzature, sistemi e tecnologie.

Al suo interno, sono state sviluppate nuove tecniche di misura per affinare le conoscenze sul rumore emesso dalla sorgente stradale, sia a livello di contatto ruota-pavimentazione che della percezione delle sorgenti sonore per ogni tipo di veicolo stradale che si muove su una strada.

È stato studiato l'effetto degli stili di guida sui livelli di rumore emessi dai veicoli, nonché l'effetto di metodi di gestione dei flussi di traffico e di sistemi di assistenza alla guida. Sono altresì stati sviluppati una serie di scenari urbani per la progettazione di piani d'azione e sistemi di supporto alla decisione per aiutare le amministrazioni locali a ridurre il rumore delle infrastrutture di trasporto nelle loro città [14].

Sono state studiate le sorgenti di rumore di veicoli stradali e ferroviari (figura 4.b) per migliorare i modelli che poi formeranno la base per le indagini su nuovi materiali e soluzioni atte all'abbattimento dei livelli di rumore. Sono state, quindi, provate nuove soluzioni per l'abbattimento dei livelli alla sorgente sia per il contatto ruota-pavimentazione (caso stradale) che ruota-binario (caso ferroviario).

Il progetto è suddiviso in una serie di task che hanno prodotto una grande quantità di documenti sia tecnici che informativi. Infatti, uno dei principali obiettivi di SILENCE è l'*E-LEARNING* delle possibili risposte alle problematiche legate al rumore da infrastrutture e quindi l'individuazione delle possibili soluzioni. Per questo è stata progettata una specifica sezione del sito con informazioni orientate sia ai pianificatori urbani o di reti di trasporto, che ai tecnici trasportistici, che infine a chi deve prendere decisioni (enti di controllo, autorità, enti di pianificazione).

Una particolare attenzione è stata inoltre posta nello studio di relazioni fra *annoyance*, percezione del rumore e sorgenti di rumore, con indagini costruite ad hoc basate su misure (o più sovente modellizzazioni) e questionari, condotte in diversi paesi europei al fine di confrontare i risultati fra i vari stati. Il risultato (in realtà una conferma a quanto già ottenuto in passato in casi simili) è stato che il disturbo è legato ai livelli di rumore espressi in $L_{DEN}-L_{Night}$ e che, in caso di parità di livelli, il disturbo provato per il rumore ferroviario è inferiore a quello stradale. Sono stati fatti confronti fra le varie città, fra la sensibilità nei vari paesi (in Italia è bassa mentre in Polonia o Germania è molto alta), considerando le condizioni di vita e la zona di abitazione dei rispondenti ed altri confondenti.

È stato sviluppato un modello di previsione del rumore di passaggio di un'automobile o di un treno (Vamppass), che fornisce informazioni sia di livello che spettrali e la loro evoluzione nel tempo durante il passaggio e che fosse in grado di produrre un segnale utilizzabile per il riascolto o per l'auralizzazione. In ingresso tale programma utilizza uno specifico database contenente informazioni sulle caratteristiche di sorgente (treno elettrico, diesel e automobile). Il modello è stato validato per il passaggio di un treno.

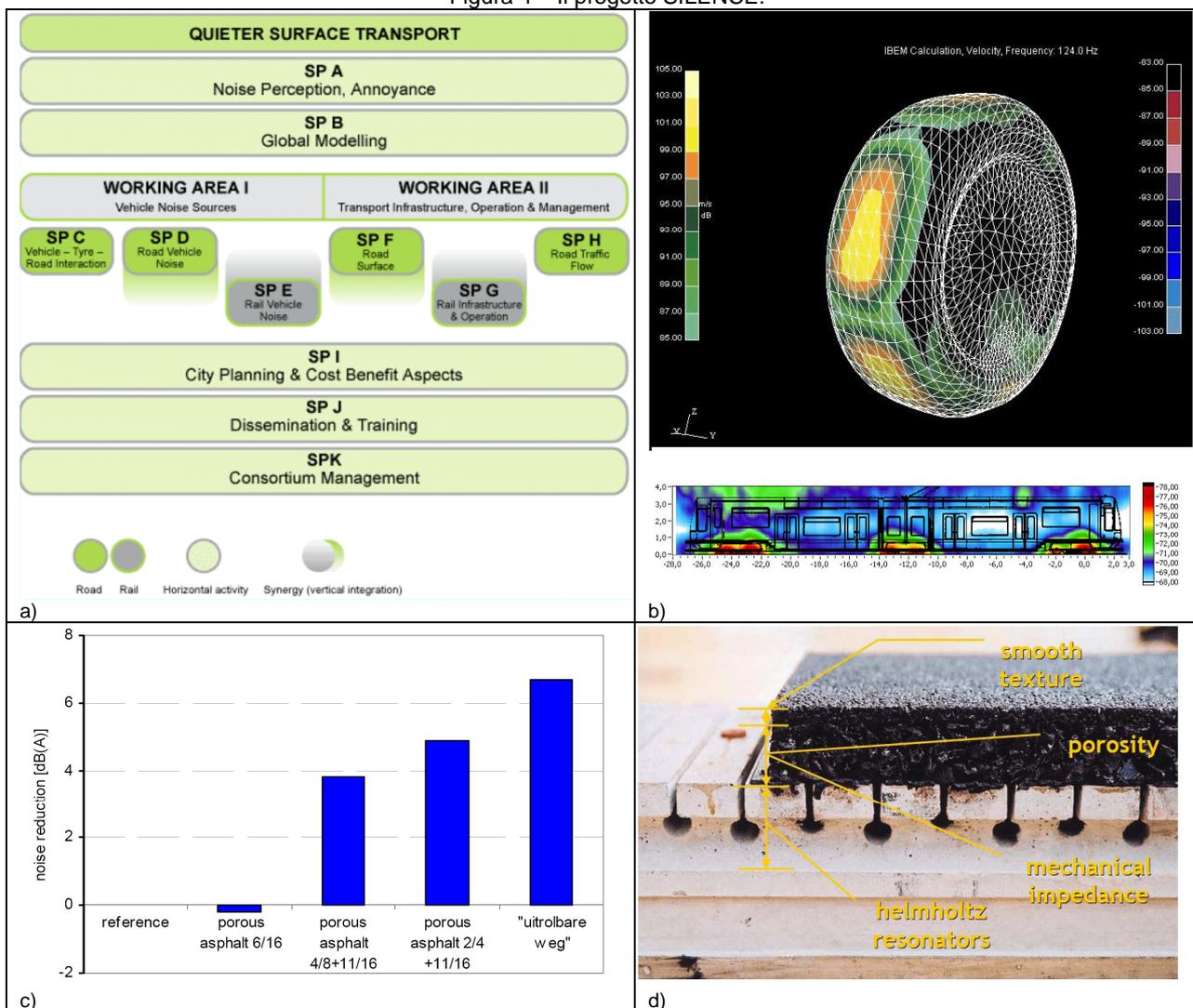
Un altro obiettivo importante del progetto era definire un modello realistico di interazione fra ruota e pavimentazione e la progettazione e la sperimentazione di alcune nuove tipologie di pneumatico a bassa emissione, tenendo ovviamente conto anche degli altri aspetti (sicurezza, funzionalità, realizzabilità). Questo ha portato alla realizzazione di quattro serie di prototipi fino alla realizzazione di una tipologia di pneumatico a bassa emissione adatta alle condizioni tipiche delle strade urbane.

Parallelamente sono state studiate anche alcune nuove pavimentazioni per strade principali urbane e strade di quartiere, tramite lo studio di particolari mescole o strutture (microtappeti), di tessiture ottimizzate, di pavimentazioni utilizzando polverino di gomma o l'uso di conglomerati speciali (figure 4.c e 4.d).

Sono state realizzate quattro sezioni stradali a Copenaghen i cui risultati sono stati confrontati con una normale usura SMA 0/11. I risultati migliori sono stati ottenuti con l'uso di microtappeti (ca. 4 dB(A)).

E' stata sviluppata anche una linea guida sulla manutenzione delle pavimentazioni speciali a bassa emissione con lo scopo di fornire informazioni atte a prolungare la vita dei vari tipi di pavimentazione. Infine è stato sviluppato un database contenente informazioni dettagliate sulle prestazioni acustiche dei vari tipi di pavimentazioni a bassa emissione con informazioni sugli effetti di eventuali difetti o singolarità (binari dei tram, tombini, buche, toppe, incroci, passaggi pedonali...).

Figura 4 – Il progetto SILENCE.



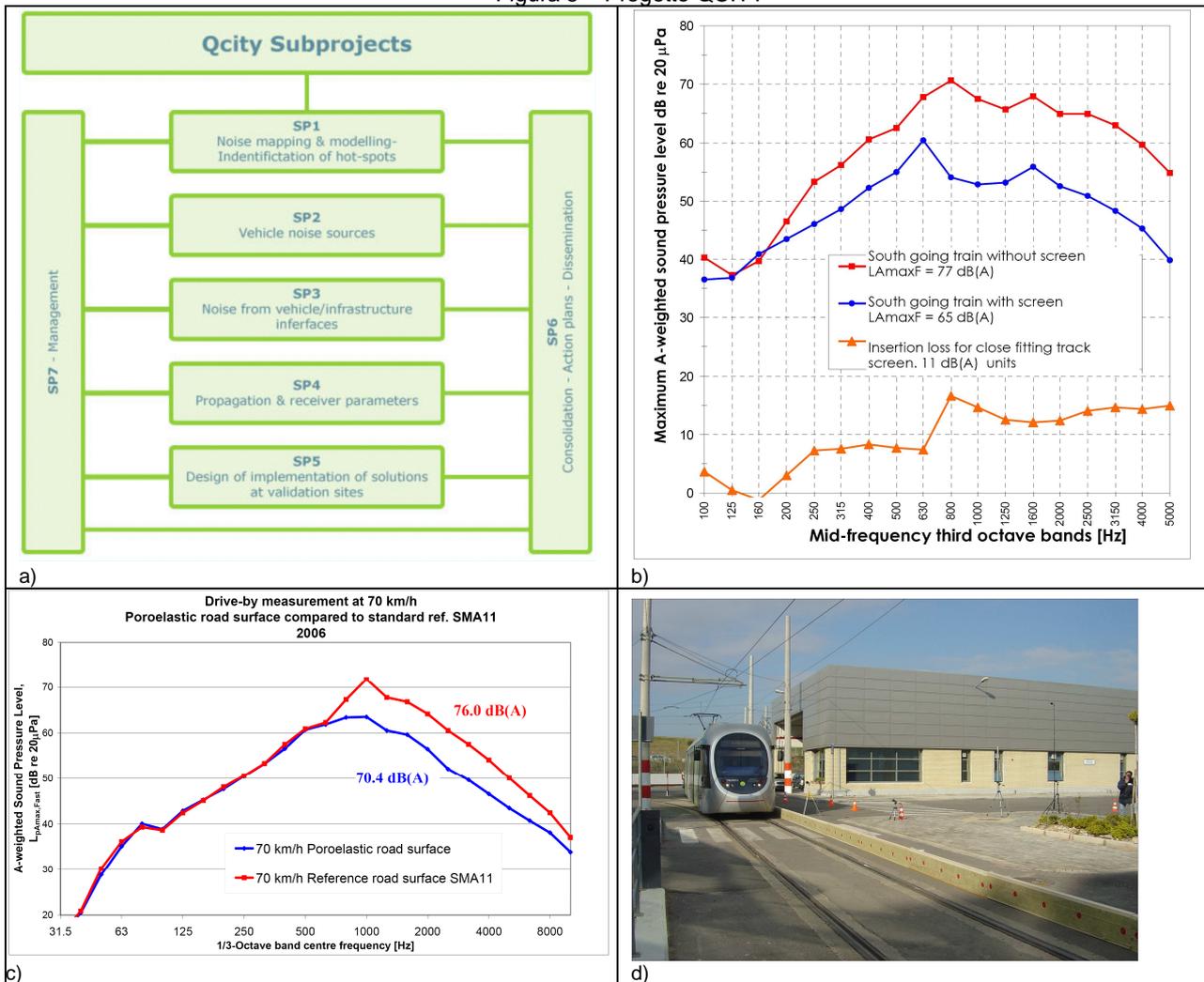
a) Struttura del progetto; b) esempi di studi effettuati sulle sorgenti stradali (interazione ruota/pavimentazione) e ferroviarie urbane (emissione di tram, metro, treni leggeri); c) Comparazione di risultati ottenuti con varie pavimentazioni stradali a bassa emissione; d) nuova generazione di pavimentazioni a bassa emissione ("de uitrolbare weg" = strada rullante)

Sono stati effettuati anche studi sulle sorgenti motore e trasmissione per i veicoli con particolare attenzione ai transienti, che diventano molto importanti nell'ambito della guida in città. E' stata misurata la distribuzione di potenza acustica nelle varie fasi delle manovre automobilistiche.

Sono state infine studiate le sorgenti associate a mezzi su rotaia transitanti in città (treni leggeri, tram, metropolitane), determinando il contributo di ciascuna sorgente al livello complessivo di rumore emesso dal materiale rotabile.

Sono state studiate soluzioni specifiche per ridurre ciascun contributo (rumore da rotolamento, motori diesel, sistema di scarico e di raffreddamento, trazione). Sono stati studiati sistemi di raffreddamento ottimizzati, scambiatori di calore, nuovi sistemi di emissione degli scarichi, smorzatori per le ruote, con la verifica dell'efficienza di ciascuna soluzione e l'implementazione reale di alcune fra le soluzioni più efficienti (ad esempio gli smorzatori alla ruota hanno portato ad un abbattimento dei livelli di ca. 2 dB(A), smorzatori applicati ai binari cittadini abbattimenti di anche 4 dB(A), e, se combinati hanno portato ad un abbattimento complessivo di ca 5 dB(A)).

Figura 5 – Progetto QCITY



a) Struttura del progetto; b) effetto sul rumore ferroviario emesso dell'inserimento di microbarriere sviluppate nel progetto nei pressi del binario; c) confronto fra SPL emesso da una pavimentazione ordinaria e una superficie poroelastica sviluppata nell'ambito del progetto; d) foto delle microbarriere ferroviarie

IL PROGETTO QCITY

Il progetto [15], della durata di quattro anni, con la partecipazione di 27 partner (di cui solo uno italiano), è stato parzialmente finanziato dalla Commissione Europea all'interno del 6° Programma Quadro ed è iniziato nel Febbraio 2005. Il suo scopo è quello di sviluppare un'infrastruttura tecnologica per un controllo efficiente del rumore ambientale associato alle infrastrutture stradali e ferroviarie considerando l'attenuazione del suono generato dalla sorgente a livello sia del veicolo che dell'infrastruttura. Questo dovrà servire come supporto per le politiche sul rumore Europee nell'eliminazione degli effetti nocivi dell'esposizione al rumore e ridurre i livelli di emissione del rumore alla sorgente, soprattutto in area urbana, al fine di riportare i livelli di rumore ai limiti di legge.

L'obiettivo è quello di fornire alle municipalità strumenti per la redazione delle mappe acustiche richieste dalla END insieme ad un ampio intervallo di soluzioni validate tecnicamente per i problemi di risanamento

che si possono presentare nei casi reali e specifici delle singole città europee.

Il progetto è costituito da 7 sottoprogetti (figura 5.a - a loro volta suddivisi in vari workpackage): Mappature Acustiche e Modellizzazione; Sorgenti Veicolari; Relazione Veicolo-Infrastruttura; Propagazione e Recettore; Progetto ed implementazione di soluzioni in siti validati; Consolidamento, piani d'azione e divulgazione; Gestione.

Il progetto è incentrato sull'analisi delle mappe acustiche di alcune città Europee (Brussels, Ostend, Ghent, Göteborg, Stockholm, Augsburg e Stuttgart), sull'analisi della sensibilità delle mappe ai parametri d'ingresso legati alle infrastrutture, sull'identificazione con procedure automatiche dei punti caldi (è stato sviluppato un metodo per la conversione delle mappe dei livelli in mappe dei problemi, considerando la densità di popolazione, il rumore esterno, il rumore nei cortili interni) e valutazione del disturbo (annoyance e disturbo del sonno) della popolazione

È stata valutata la percezione di disturbo associata alle singole sorgenti presenti nei veicoli con una serie di misure effettuate sull'intera tipologia di veicoli che formano il parco circolante, in varie condizioni di guida, a varie merci e a varie velocità, generando un database di situazioni di guida con associate informazioni sui livelli di rumore prodotti e sugli spettri emessi per ogni tipo di veicolo analizzato. All'interno del progetto è stato ribadito che il rumore di rotolamento diventa importante e disturbante per velocità superiori a 50 km/h ed il rumore degli organi di combustione (ovvero lo stile di guida) diventa predominante per velocità inferiori a 50 km/h.

È stato valutato l'effetto nuovi tipi di veicoli che negli anni prossimi circoleranno con sempre maggior frequenza (ad esempio ibridi, e nel caso di una strada dove circolassero solo quest'ultimi, si avrebbe un abbattimento dei livelli di rumore di circa 10÷15 dB(A)).

Dal momento che le condizioni di guida influiscono in modo rilevante sui livelli di rumore immessi dalle infrastrutture di trasporto, sono stati studiati gli effetti di vari stili di guida (completando gli studi effettuati nel progetto SILENCE) sia sui flussi di traffico che sui livelli di rumore immessi (mettendo a punto uno specifico modello di traffico che implementasse condizioni di guida variabili all'interno dell'arco viario, interfacciato con un software commerciale di calcolo dei livelli di rumore), cercando di ottenere uno strumento che permettesse di pianificare il controllo del rumore tramite il controllo del traffico soprattutto considerando lo stile di guida in modo più realistico di quanto a disposizione con gli ordinari mezzi di pianificazione urbana.

Per quanto concerne le tecniche di mitigazione e risanamento necessarie per i piani d'azione, sono state studiate una serie di soluzioni che vanno da nuove tipologie di pavimentazioni stradali a bassa emissione (poroelastiche con aggiunta di polverino di gomma, figura 5.c) a superfici assorbenti speciali per usi sia ferroviari che stradali, per la riduzione dei livelli di rumore. Sono state studiate anche soluzioni speciali sia per i binari ferroviari (microbarriere - figura 5.b e 5.d, profili di binario speciali a bassa emissione acustica) che per i tram (a bassa emissione di stridio, specie per le curve con l'uso di binari speciali).

IL FUTURO NELLA GESTIONE DEL RUMORE

All'interno del progetto CALM II, precedentemente introdotto, è stato redatto un documento [16] che fornisce le indicazioni su quale sarà la direzione dello sviluppo della ricerca per la riduzione del rumore in Europa.

Questo documento costituisce una naturale prosecuzione ed integrazione del *"Libro verde sulla futura politica sul rumore"* [17], in cui veniva individuato l'inizio di un approccio basato sulla conoscenza estesa dei problemi di disturbo legati all'esposizione al rumore e venivano indicati gli obiettivi della loro gestione e soluzione.

Dal nuovo documento di CALM II emerge la necessità di *"evitare gli effetti dannosi dell'esposizione al rumore di tutte le sorgenti e preservare le aree quiete"*. Infatti il rumore è diventato con gli anni uno dei principali elementi di pressione per i cittadini, e spesso, nelle indagini pubbliche, i problemi legati al rumore sono sempre ai primi posti nell'attenzione della popolazione. La strategia futura di ricerca deve perciò supportare l'implementazione della END e dei suoi sviluppi futuri nella politica di gestione del rumore.

La ricerca viene indicata come l'elemento chiave nella riduzione del rumore (*"È necessaria una ricerca intensiva per fornire una solida base per un futuro efficiente controllo del rumore ambientale"*). Questa dovrà contenere: studi su come il rumore influenza le persone quando queste sono a scuola, a casa o stazionano in aree ricreative, ovvero sulla percezione del rumore e l'esposizione e dei conseguenti impatti sulla salute; studi sull'abbattimento del rumore includendo un'analisi dei costi/benefici; studi di nuove tecnologie e approcci integrati per migliorare il controllo del rumore alla sorgente ed il futuro sviluppo della direttiva. Le sorgenti principali del rumore che dovranno essere considerate sono il rumore dei trasporti e degli impianti in esterno. Diventa pertanto fondamentale poter disporre di modelli predittivi capaci di fornire quegli elementi utili allo sviluppo delle attività di ricerca indicate.

CONCLUSIONI

Una notevole attività di studio e ricerca ha accompagnato e sta seguendo l'implementazione della direttiva europea. Vari passi sono stati compiuti, ma molti altri sono necessari. Se da un lato sono state poste le basi

a un modello di riferimento europeo per le differenti sorgenti specifiche, dall'altro non è ancora disponibile un prodotto unico da utilizzare in tutti gli Stati Membri. Problemi legati al diritti di sfruttamento di quanti hanno lavorato nei progetti HARMONOISE e IMAGINE hanno di fatto impedito l'utilizzazione completa dei risultati ottenuti.

Si sta intanto lavorando per cercare di verificare la validità di quanto prodotto in questa prima fase dai vari Stati Membri per consentire un reale confronto tra i risultati. Recentemente l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) ha istituito un gruppo di esperti che ha come compito, tra l'altro, quello di assistere la Commissione Europea per la revisione della Direttiva europea e sviluppare metodi comuni di calcolo, nel contempo verificando le prestazioni degli esistenti.

Le esperienze prodotte dai progetti già svolti e la valutazione di quanto ottenuto nella prima fase di applicazione della direttiva costituiranno un utile base per gli approfondimenti futuri. Restano ancora molti spazi di ricerca da colmare soprattutto in materia di valutazione dell'esposizione a lungo termine in ambito urbano, dove gli effetti meteorologici sono complicati dalla presenza di isole di calore e dove la modellizzazione dei livelli sonori determinati da bassi volumi di traffico determina incertezze associate ai livelli stimati più elevate.

Bibliografia

- 1 Progetto CALM II. "BlueBOOK 2006 Research projects on environmental noise", ed. Aprile 2006, reperibile all'URL <http://www.calm-network.com/bluebook/index.htm>
- 2 Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio 2002/49/CE del 25/06/2002 "relativa alla determinazione e della gestione del rumore ambientale", GUCE L 189 del 18.07.2002 pp. 12-25. recepita in Italia con Dec. Legislativo 19 Agosto 2005, n. 194, "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale", pubb. In G.U. n.222 del 23/09/2005
- 3 Raccomandazione della Commissione 2003/613/CE del 06/08/2003 "concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità" GUCE L 212 del 22.8.2003 pp. 49-64
- 4 CERTU-CSTB-LCPC-SETRA, "Bruit des infrastructures routières – Méthode de calcul incluant les effets météorologiques" ("Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit" -NMPB-Routes-1996), Parigi, Francia, 1997 prima pubblicazione in "Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières", Journal Officiel du 10 mai 1995, articolo 6 e nella norma francese «XPS 31-133»
- 5 "Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Directie Geluid en Verkeer", Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, prima stesura: 20 Novembre 1996
- 6 ECAC doc. 29 "Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports", 1997
- 7 S. Kephapoulos, M. Paviotti and B. Gergely, *Differences among European noise mapping methods*, Atti "Acoustics 08", pp 765-770, Parigi, 29/06-04/07 2008
- 8 Progetto HARMONOISE ("Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management Of Environmental Noise", finanziato dalla Comunità Europea sul programma IST - contratto IST-2000-28419), "FINAL TECHNICAL REPORT – Deliverable 4 of the HARMONOISE project", reperibile all'URL: http://www.imagine-project.org/bestanden/D04_WP7_HAR7TR-041213-AEAT04.pdf
- 9 Progetto IMAGINE-("Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment", finanziato dalla Comunità Europea con fondi del VI Programma Quadro Area 1.2.1, con contratto SSPI-CT-2003-503549-IMAGINE), Deliverable 15 "Final Synthesis - Report Guidance on the IMAGINE methods", reperibile all'URL: http://www.imagine-project.org/bestanden/IMA10TR-061116-AEATNL10_D15.pdf
- 10 IMAGINE, "Guidelines for the use of traffic models for noise mapping and noise action planning", Deliverable 7 (WP2: Demand and traffic flow management) IMA02DR7-0660531-TNO, Final Draft del 09/02/07 reperibile all'URL: <http://www.imagine-project.org/bestanden/IMA02DR7-0660531-TNO.12.pdf>
- 11 WG-AEN (2006), 'The Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure', Version 2, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), 13/01/2006.
- 12 IMAGINE, "Guidelines for producing strategic noise maps on industrial sources" Deliverable 14 (WP7: Industrial noise) IMAWP7D14-060811-DGMR03, Final Draft del 12/02/07 reperibile all'URL: http://www.imagine-project.org/bestanden/IMAWP7D14-060811-DGMR03_D14.pdf
- 13 Progetto SILENCE ("Quieter surface transport in urban areas", finanziato dalla Comunità Europea con fondi del VI Programma Quadro, contratto n. TIP-CT-2005-516288, Integrated Project n. 516288), Presentazione del progetto (in formato ppt), reperibile all'URL: http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/SP_J/SILENCE_presentation.pdf
- 14 Progetto SILENCE, "The SILENCE Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans - The SILENCE tool for noise abatement", scaricabile dall'URL: <http://www.silence-ip.org/site/>
- 15 Progetto QCITY ("Quiet City Transport", finanziato dalla Comunità Europea con fondi del VI Programma Quadro, con contratto n. TIP4-CT-2005-516420, PROJECT n. FP6-516420), documentazione reperibile sul sito: <http://qcity.eu/index.html>
- 16 Progetto CALM II, "research for a quieter Europe in 2020 - An updated strategy paper of the CALM II Network", ed. Sett. 2007, reperibile all'URL: http://www.calm-network.com/SP_2020_final07.pdf
- 17 Commissione Europea, "Green Paper on Future Noise Policy", COM(96) 540 final, 4.11.1996