

## **IMPATTO ACUSTICO DI UN SITO INDUSTRIALE IN UN CONTESTO VALLIVO: EFFETTI DEL GRADIENTE TERMICO VERTICALE**

Giovanni Agnesod, Marco Cappio Borlino, Christian Tibone, Christian Tartin,  
Daniele Crea, Filippo Berlier

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Valle d'Aosta,  
St.Christophe (AO)

### **1. Introduzione**

La Valle d'Aosta è una regione alpina in cui l'orografia condiziona fortemente la configurazione territoriale delle sorgenti, la propagazione del suono e i livelli complessivi di rumorosità ambientale. La valle principale, percorsa dalla Dora Baltea, dal Monte Bianco allo sbocco nella pianura piemontese, è l'asse dove si concentrano le principali sorgenti di rumore: infrastrutture del traffico internazionale, insediamenti industriali, nuclei abitativi più estesi. D'altra parte, villaggi e abitazioni sparse, distribuiti in modo diffuso sugli estesi versanti che si affacciano sulla valle centrale, rendono necessario analizzare in modo accurato la propagazione del rumore a distanza dalle sorgenti.

Particolare attenzione va posta non solo alla morfologia specifica della zona oggetto di studio, ma anche ai fenomeni meteorologici caratteristici delle valli alpine, in modo particolare alle situazioni di inversione termica frequenti soprattutto nella stagione fredda [1]. Per caratterizzare i profili di temperatura sono stati posizionati opportunamente sensori di temperatura a diverse quote lungo i fianchi della valle centrale, in modo da poter correlare i livelli sonori ambientali con le diverse condizioni di stratificazione termica. La sorgente sonora considerata nel presente lavoro è costituita da un'acciaieria situata nei pressi della città di Aosta. Essa si presta particolarmente bene alla valutazione dell'impatto acustico in quanto caratterizzata, nell'arco della settimana, dall'alternanza di una fase di ciclo produttivo continuo (diurno e notturno) e da una fase di fermo impianto.

### **2. Descrizione del sito oggetto dello studio**

La città di Aosta è situata in una piana alluvionale al centro della regione. In figura 1 è visibile la zona oggetto di studio. A margine della città di Aosta, compresa tra l'area abitata e il fiume Dora Baltea, è evidenziata l'acciaieria. A sud della Dora Baltea la zona pianeggiante si estende fino al ripido piede dei versanti Sud, evidenziati in figura dal-

la copertura boscosa. Verso Nord i declivi, caratterizzati dalla configurazione più irregolare e sparsa del reticolo abitativo urbano, hanno una pendenza più morbida. Nell'area dell'acciaieria è evidenziata la sorgente sonora principale, costituita dal forno fusorio, e i punti di misura. Questi ultimi sono situati parte nella piana di fondovalle, parte nei due versanti a Nord e a Sud, a diverse quote. È inoltre indicata, nella sua parte iniziale, la direttrice lungo cui sono stati collocati i termometri.

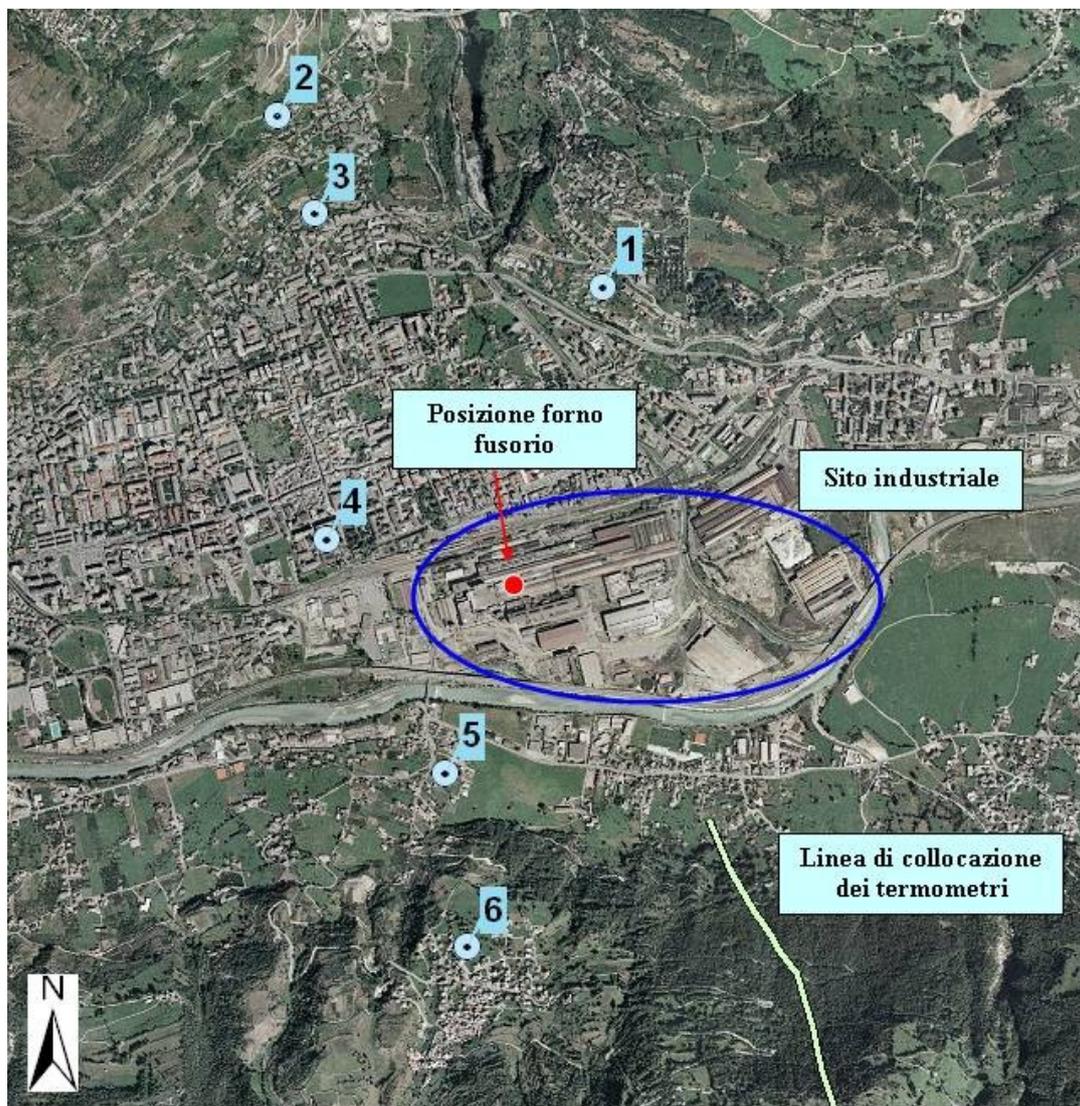


Figura 1 – Immagine della zona oggetto di studio, in cui sono evidenziate la sorgente, i punti di misura e il profilo verticale di temperatura

### 3. Caratterizzazione acustica della sorgente e dei recettori

In tutte le valutazioni di cui al presente studio, il forno ad arco utilizzato per le attività di fusione è stato individuato come la sorgente più impattante sulla rumorosità ambientale nel territorio circostante lo stabilimento siderurgico.

Il forno entra in attività dal lunedì pomeriggio fino al sabato pomeriggio con cicli consecutivi di circa 2 ore. Sulla base di tale scansione temporale sono stati individuati

un periodo, dal martedì fino al venerdì, considerato di attività impattante (fase A) ed un altro, dal sabato sera al lunedì mattina, considerato di assenza di attività fusoria impattante (fase B).

In particolare i tempi di riferimento diurni e notturni compresi nelle due fasi sono stati così suddivisi:

- Tr diurno della fase A dalle ore 06 alle ore 22 dei giorni di martedì, mercoledì, giovedì, venerdì
- Tr notturno della fase A dalle ore 22 alle ore 06 dei giorni di martedì, mercoledì, giovedì, venerdì
- Tr diurno della fase B dalle ore 06 alle ore 22 della domenica
- Tr notturno della fase B dalle ore 22 alle ore 06 dei giorni di domenica e lunedì

Il rumore prodotto dal forno fusorio è schermato in direzione Nord da strutture in muratura contigue, facenti parte dello stabilimento siderurgico. Inoltre si è riscontrato, in seguito a sopralluoghi effettuati all'interno dello stabilimento e ad informazioni fornite dall'azienda stessa, che gli impianti e le lavorazioni più impattanti sono rivolte a Sud.

Per la caratterizzazione dell'impatto acustico della sorgente industriale sull'intorno edificato sono state condotte rilevazioni fonometriche prolungate di durata settimanale con strumentazione automatica e altre di durata di 15 minuti assistite da operatore.

I punti di monitoraggio prolungato sono stati:

1) Località Roppoz (Aosta), area residenziale collinare che sorge in periferia di Aosta a Nord dello stabilimento ad una quota di circa 620 m.s.l.m. Clima acustico caratterizzato da scarso traffico locale e da rumore prodotto dall'acciaieria;

2) Frazione Borgnon (Aosta), zona residenziale collinare posta a Nord-Ovest dello stabilimento ad una quota di circa 725 m.s.l.m. Clima acustico caratterizzato da traffico locale (strada regionale) e rumore complessivo proveniente dalla piana di Aosta comprendente anche le emissioni dell'acciaieria;

3) Frazione Bibian (Aosta), zona residenziale collinare posta a Nord-Ovest dello stabilimento a circa 630 m.s.l.m. Clima acustico caratterizzato da scarso traffico locale e da rumore complessivo proveniente dalla piana di Aosta comprendente anche le emissioni dell'acciaieria;

4) Via Trottechien (Aosta), area urbana pianeggiante ad Ovest dello stabilimento. Il punto di misura è situato al sesto piano di un condominio, ad una quota di circa 580 m.s.l.m. Clima acustico caratterizzato dal traffico urbano locale e da rumore prodotto dall'acciaieria;

5) Località Pont Suaz (Charvensod), zona residenziale a Sud dello stabilimento, in area pianeggiante, a circa 575 m.s.l.m. Clima acustico caratterizzato da traffico urbano, traffico autostradale e da rumore prodotto dall'acciaieria;

6) Località Charvensod Capoluogo, tipica area residenziale di versante, situata in zona rurale a 780 m.s.l.m. a Sud dello stabilimento. Clima acustico caratterizzato da rumore complessivo proveniente dalla piana di Aosta comprendente anche le emissioni dell'acciaieria.

È stata effettuata anche una stima modellistica dell'impatto prodotto dal complesso industriale, con riferimento alla zona di territorio riportata in figura 1.

Particolare attenzione nella ricostruzione dell'area di studio si è rivolta all'orografia del sito, riprodotta tramite modello digitale del terreno, e all'altezza degli edifici, determinata da informazioni fornite dagli uffici comunali e da sopralluoghi sul territorio.

Il calcolo dei livelli di rumore è stato effettuato per mezzo dell'algoritmo previsto nella norma ISO 9613-2. Per la modellizzazione della sorgente si è preso in considera-

zione l'edificio in cui vengono effettuate le lavorazioni maggiormente impattanti dal punto di vista acustico e si sono considerate le sue pareti come sorgenti superficiali distinte.

La taratura del modello è stata eseguita con riferimento ai risultati delle misure in continuo e dei rilievi brevi.

I risultati della stima modellistica del rumore prodotto dalla sorgente specifica considerata (forno fusorio) su un piano verticale direzione S-N passante per la sorgente sono riportati in figura 2.

La modellizzazione è stata effettuata in condizioni omogenee, in assenza di vento e con gradiente termico normale.

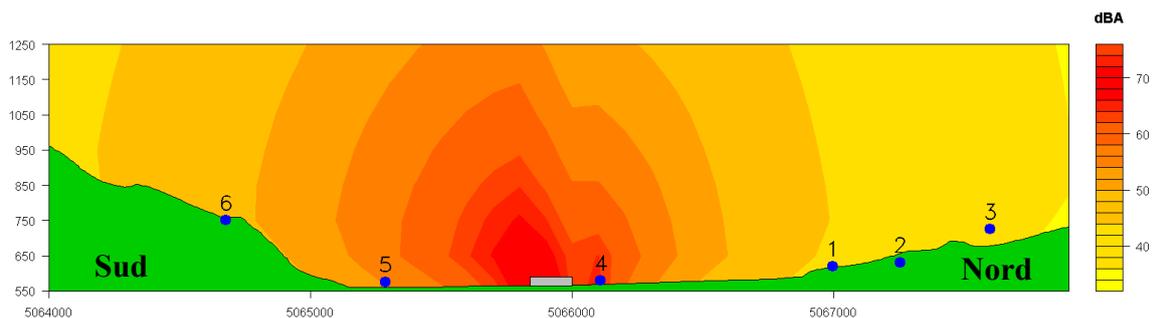


Figura 2 – Livelli sonori (Lden) su una sezione trasversale della zona oggetto di studio. I numeri indicano la proiezione dei punti di misura di figura 1 sul piano considerato.

#### 4. Condizioni meteorologiche

Le condizioni meteorologiche possono assumere particolare rilevanza nel favorire o meno la propagazione del rumore in ambiente.

In particolare, nel presente studio, si è voluto considerare l'influenza di condizioni di inversione termica sui livelli di rumorosità ambientale prodotti dalla sorgente specifica.

L'inversione termica è un fenomeno riferito a condizioni atmosferiche in cui strati di aria fredda e pesanti sono intrappolati sotto strati di aria calda e leggera. Queste inversioni sono tipiche della parte più bassa dell'atmosfera e si verificano soprattutto nella stagione autunnale-invernale. Esse sono riconoscibili visivamente per la formazione di uno strato di foschia o nebbia la cui persistenza è favorita dall'assenza di movimenti verticali delle masse d'aria. Le condizioni di inversione termica sono particolarmente frequenti e persistenti, nei periodi di alta pressione, in una configurazione territoriale di tipo vallivo come quella della città di Aosta e del suo circondario. Tale caratteristica climatologia è confermata dal monitoraggio dei parametri meteorologici che ARPA Valle d'Aosta conduce da parecchi anni in ordine alla modellistica dell'inquinamento atmosferico.

Per poter caratterizzare correttamente le giornate di inversione termica, è stato eseguito un monitoraggio di temperatura sul versante vallivo a Sud a partire dal fondovalle fino ad arrivare ad una quota di 1500 m.s.l.m. con 13 sonde termoigrometriche Hobo dislocate ogni 50 m fino alla quota di 800 m e successivamente ogni 100 m. I valori di temperatura e umidità sono stati acquisiti per ogni termometro ogni 10 minuti. Ai fini del presente studio sono stati considerati solo i dati relativi alla temperatura. Nella successiva figura 3 è riportato il profilo lungo il quale sono stati acquisiti i dati di tempera-

tura con l'immagine della sonda termoisometrica utilizzata. I profili termici rilevati sono riportati nel grafico di figura 4.

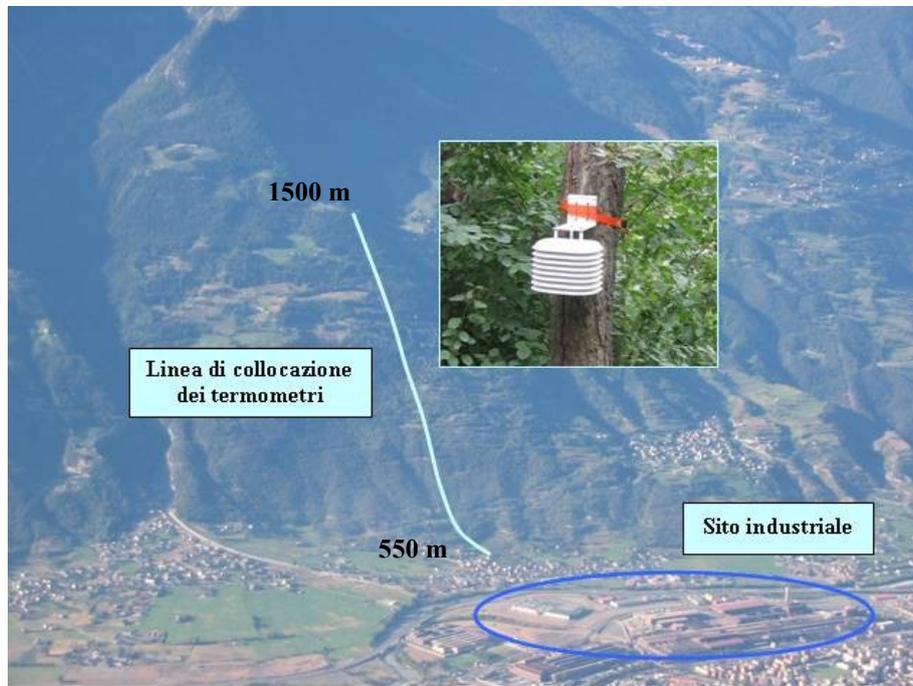


Figura 3 – Fondovalle della Dora Baltea e versante destro orografico, con indicazione della linea di collocazione dei termometri. Nel riquadro è riportato uno dei sensori, in una tipica collocazione.

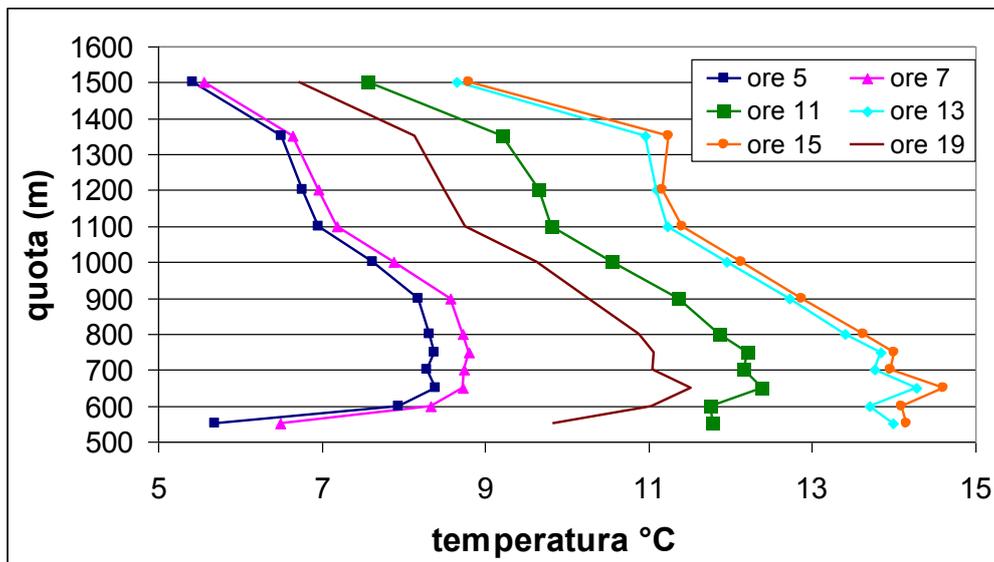


Figura 4 – Profili termici lungo il versante Dx orografico della piana di Aosta. Profili medi orari ("ore medie") durante l'intero periodo di monitoraggio (luglio 2006-febbraio 2007).

I profili riportati si riferiscono ad ore medie su un arco temporale che comprende stagioni diverse. Benché dunque essi abbiano un valore illustrativo generale della tecnica di misura utilizzata, essi permettono di rilevare:

- a tutte le ore del giorno, l'effetto di marcata inversione termica dello strato limite a contatto del suolo a fondovalle;
- la presenza di condizioni più marcate di inversione termica nelle prime ore del mattino (ore 5-ore 7): la temperatura resta costante al crescere della quota da 650 a 900 m;
- la tendenziale scomparsa di condizioni di inversione termica al di sopra dello strato limite nelle ore centrali della giornata;
- una zona di tendenziale inversione termica a quote superiori (da 1100 a 1350 m) più marcata nelle ore centrali della giornata.

Nelle successive analisi di correlazione tra livelli sonori e profili termici, si sono confrontati i dati medi fonometrici e termometrici ora per ora. Si sono distinte due condizioni:

- inversione termica quando il gradiente termico era maggiore o uguale a  $1,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ;
- assenza di inversione termica negli altri casi.

## 5. Risultati dei rilievi fonometrici

I principali risultati dei rilievi sono sintetizzati in tabella 1 relativamente ad ogni punto di misura prolungato. Sono stati considerati sia i livelli a lungo termine  $L_{eq}(06-22)$  e  $L_{eq}(22-06)$  previsti dalla legge 447/95 sia i due nuovi descrittori acustici previsti dal Dlgs 19 agosto 2005 n° 194 attuativo della END 2002/49 sulla gestione del rumore ambientale. Tali descrittori sono stati quantificati in ogni punto come livelli continui equivalenti a lungo termine  $L_{den}$ ,  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  e  $L_{night}$  ponderati A, determinati sull'insieme rispettivamente dei periodi giorno, sera e notte rilevati durante i rilievi settimanali effettuati per la campagna di misure.

Nelle ultime colonne della tabella è riportata, rispettivamente per il periodo 06-22, 22-06 ( $L_{night}$ ) e  $L_{den}$ , la differenza tra il livello medio rilevato durante la fase A e quello rilevato durante la fase B.

Tabella 1 – Principali descrittori acustici rilevati in ciascun punto di misura dB(A)

<i>P.</i>	<i>n° giorni di rilievo</i>	<i>Fase</i>	$L_{Aeq(06-22)}$	$L_{Aeq(22-06)} = L_{night}$	$L_{Day} (06-20)$	$L_{evening} (20-22)$	$L_{den}$	$\Delta L_{Aeq} (06-22)$	$\frac{\Delta L_{Aeq} (22-06)}{= \Delta L_{night}}$	$\Delta L_{den}$
1	10	A	51.8	47.6	52.3	49.1	54.6	2.5	2.5	2.2
	4	B	49.3	45.1	49.3	49.2	52.4			
2	14	A	50.6	45.6	50.8	48.4	53.2	1.5	0.1	0.3
	6	B	49.1	45.5	49.3	47.2	52.9			
3	10	A	53.5	45.6	53.8	49.6	54.6	2.8	1.7	2.4
	4	B	50.7	43.9	51.0	46.7	52.2			
4	10	A	57.7	53.1	57.9	56.0	60.6	2.0	0.1	0.7
	4	B	55.7	53.0	55.9	53.9	59.9			
5	10	A	61.5	59.2	61.6	60.4	65.9	5.0	6.1	5.3
	4	B	56.5	53.1	56.7	55.6	60.6			
6	37	A	54.5	51.7	54.6	53.1	58.4	4.0	5.3	4.6
	16	B	50.5	46.4	50.6	49.7	53.8			

I livelli  $L_{Aeq(06-22)}$  e  $L_{Aeq(22-06)}$  evidenziano un maggior impatto acustico dell'attività di fusione dell'acciaio sul versante a Sud (punti 5 e 6) dello stabilimento industriale e nella zona collinare più a Nord (punto 1). Anche le differenze di  $L_{den}$ , tra il livello misurato con attività di fusione all'interno dell'acciaieria rispetto a quello misurato nei giorni di arresto del ciclo lavorativo, sono più elevate nei punti di misura 1, 5 e 6, rispetto agli altri punti considerati nello studio.

## 6. Effetti del gradiente termico

### 6.1 Livello percentile $L_{95}$

Per meglio valutare l'effetto del gradiente termico verticale sulla propagazione del rumore prodotto dal forno fusorio dell'impianto siderurgico si è considerato, pur non avendo riferimenti normativi, il livello percentile  $L_{95}$ , essendo il rumore prodotto da tale sorgente di tipo costante e continuo. Si sono considerati solamente i livelli orari del periodo notturno in cui altre sorgenti locali, come il traffico veicolare, influenzano in modo meno significativo, rispetto al periodo diurno, il rumore prodotto dall'acciaieria.

Nella tabella 2 sono riportati i valori orari medi di  $L_{95}$  e le rispettive deviazioni standard ottenuti nei vari punti di misura in periodi di inversione termica o no.

Tabella 2 – Livelli orari medi di rumorosità ( $L_{95}$ ) e deviazioni standard ( $\sigma$ ).

Punto	Senza inversione		Con inversione	
	$L_{95}$ (dBA)	$\sigma$ (dBA)	$L_{95}$ (dBA)	$\sigma$ (dBA)
1	41,7	2,6	42,4	1,9
2	42,6	1,4	42,3	1,0
3	38,7	1,7	39,6	1,6
4	43,3	2,7	47,1	2,5
5	54,9	1,1	56,5	0,9
6	48,3	2,7	48,3	0,5

In figura 5 viene rappresentata, a partire dai valori della tabella 2, la differenza tra i livelli sonori rilevati in presenza e in assenza di inversione termica ( $\Delta L_{95} = L_{95} \text{ con inversione} - L_{95} \text{ senza inversione}$ ). Nel grafico i punti sono riportati in ordine di quota crescente.

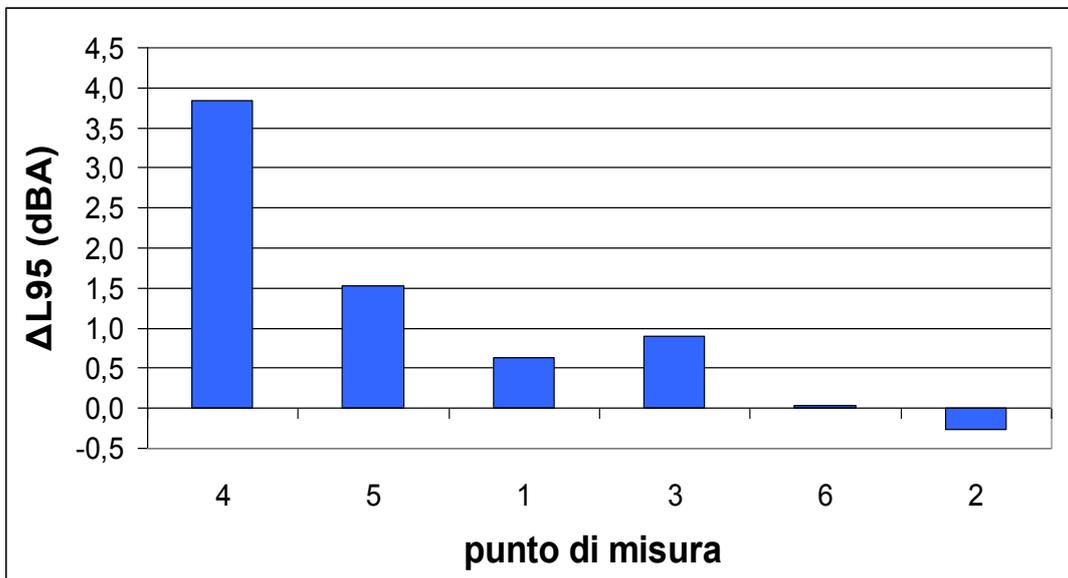


Figura 5 – Differenza tra livelli medi di  $L_{95}$  riferiti alla fase A, periodo notturno.

In figura 6 vengono riportate le deviazioni standard relative alle medie orarie di  $L_{95}$ .

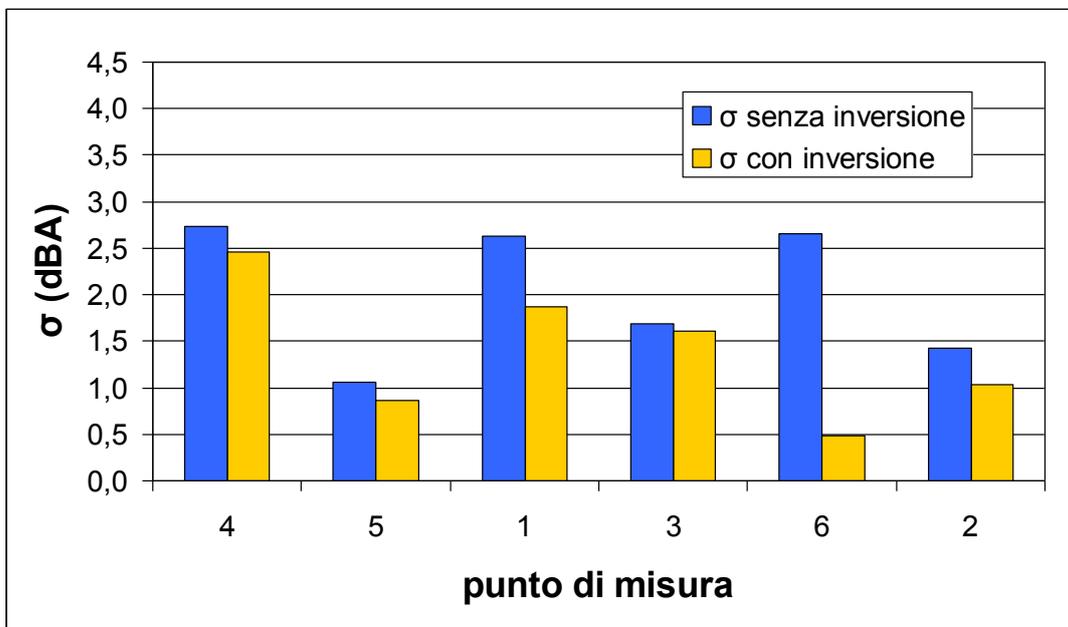


Figura 6 – Deviazioni standard ( $\sigma$ ) dei livelli medi di  $L_{95}$  riferiti alla fase A e al periodo notturno nei casi con e senza inversione termica.

Dai risultati delle elaborazioni effettuate emerge che l'inversione termica influenza la propagazione dell'onda sonora aumentando i livelli di rumorosità nei punti più prossimi alla sorgente (punti 4 e 5), senza tuttavia alterare in modo evidente il livello del rumore di fondo ambientale a distanze rilevanti (punti 2 e 6).

Le situazioni di inversione termica determinano condizioni di particolare stabilità atmosferica in cui i valori di rumorosità risultano meno dispersi: tale effetto viene confermato dalla riduzione dei valori di deviazione standard ottenuti in condizione di inversione [2].

## 6.2 Indicatori Lden e Lnight

In considerazione dei risultati ottenuti con il parametro  $L_{95}$ , si è proceduto a valutare l'effetto del gradiente termico anche sugli indicatori Lden e Lnight, descrittori acustici sul lungo periodo [3].

In figura 7 sono riportate le differenze di tali indicatori nelle due condizioni atmosferiche in esame.

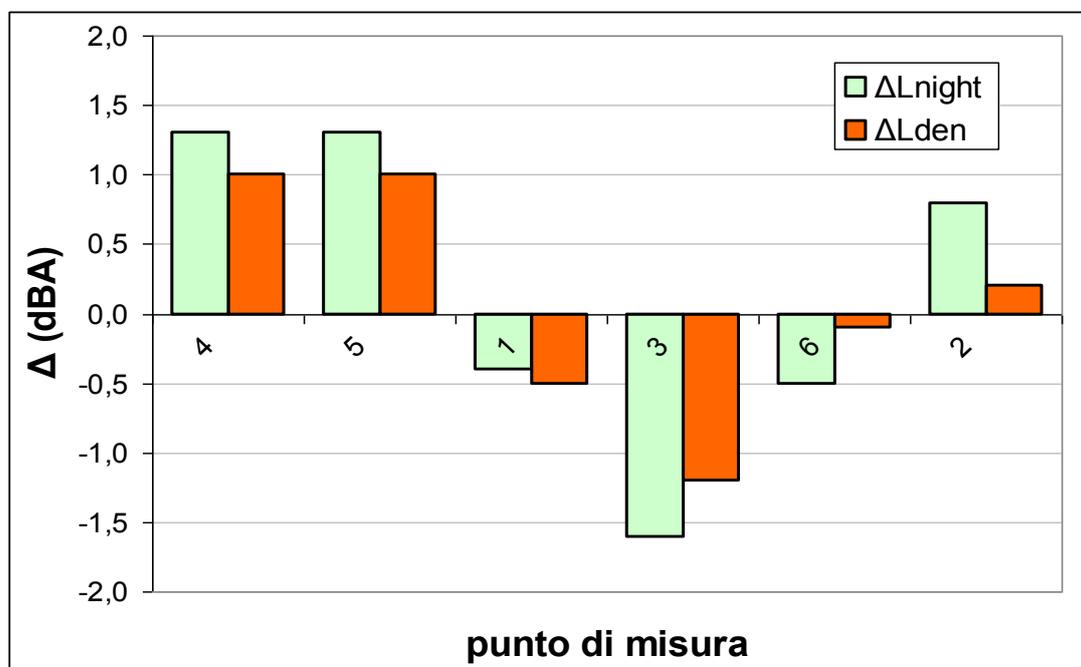


Figura 7 – Differenza tra livelli di Lden ( $L_{den}$  con inversione -  $L_{den}$  senza inversione) e Lnight ( $L_{night}$  con inversione -  $L_{night}$  senza inversione) riferiti al periodo fase A notturno.

Emerge anche dall'analisi di questi indicatori, pur se in maniera meno evidente, che l'inversione termica aumenta i livelli di rumorosità nei punti più prossimi alla sorgente e più a bassa quota. Negli altri punti non si rileva aumento, in particolare nel punto 3 pare rilevarsi un'attenuazione dei livelli complessivi.

## 7. Conclusioni

I primi risultati dell'analisi dell'effetto delle condizioni meteorologiche sulla propagazione del rumore in contesto vallivo confermano l'importanza di tale effetto, soprattutto nella determinazione del clima sonoro ( $L_{95}$ ) in recettori posti alla stessa quota della

sorgente. Si evidenzia tuttavia la difficoltà di trarre conclusioni generali riguardanti un dominio territoriale esteso ed altimetricamente vario.

Le attività attualmente in corso in ARPA VdA su questo argomento riguardano:

- 1- la valutazione dell'effetto del fenomeno di inversione termica in rapporto all'altezza di formazione dello strato di inversione sul fondovalle;
- 2- l'introduzione di parametri meteorologici negli strumenti modellistica previsionali e la loro verifica attraverso il confronto con i dati sperimentali.

### **Bibliografia**

- [1] Heutschi K., "On the sound propagation in alpine valleys", Proc. 6th European Conference on Noise Control EURONOISE. Tampere, Finland, 30 May - 1 June 2006.
- [2] Garai M., Berengier M., "Propagazione del rumore in ambiente esterno", Atti del Seminario NOISE MAPPING dell'Associazione Italiana di Acustica. Bologna, 21-22 giugno 2001.
- [3] Masoero M., Bertetti C., Mattiuzzo L. "Effetti meteorologici e descrittori acustici della direttiva 2002/49/CE: verifica in contesti geograficamente complessi", Atti del 33° Convegno Nazionale Associazione Italiana di Acustica. Ischia, 10-12 maggio 2006.

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia la dott.sa Tiziana Magri per l'indispensabile contributo fornito durante le elaborazioni dei dati meteorologici, essenziali per il presente lavoro.