

Indagine sull'ambiente sonoro in alcune aree alpine della Valle d'Aosta

Giovanni Brambilla^{a*} | Christian Tibone^b | Filippo Berlier^b | Christian Tartin^b |
Daniele Crea^b | Marco Cappio Borlino^b

^a CNR-STEMS, sede di Ferrara,
Via Canal Bianco, 28, 44124 Ferrara

^b Agenzia Regionale per la Protezione
dell'Ambiente della Valle d'Aosta,
loc. La Maladière, 48,
11020 Saint-Christophe (AO)

* Autore di riferimento:
giovanni.brambilla@stems.cnr.it

Ricevuto: 6/3/2023

Accettato: 16/6/2023

DOI: 10.3280/ria2-2023oa15535

ISSN: 2385-2615

Con l'emanazione a maggio 2022 del Decreto del Ministero della Transizione Ecologica (MITE) sulla "Definizione delle modalità per l'individuazione e la gestione delle zone silenziose di un agglomerato e delle zone silenziose in aperta campagna" anche in Italia si vuole dare un impulso alla promozione delle aree quiete e alla conservazione della qualità acustica dell'ambiente laddove questa sia buona.

In Valle d'Aosta, regione alpina caratterizzata e apprezzata per i suoi alti valori di naturalità ambientale, con vaste aree disabitate e lontane da sorgenti sonore non naturali, si osserva una grande varietà di livelli di rumore ambientale sia per effetto delle sorgenti sonore naturali che di quelle legate alle attività umane, prevalentemente a connotazione turistico-sportiva.

Il presente lavoro analizza i risultati dei rilievi fonometrici eseguiti in aree rurali in aperta campagna nel comune di Chamois in tre differenti stagioni dell'anno: estate, autunno e inverno. In tali periodi il paesaggio sonoro caratterizzato prevalentemente dai suoni naturali può cambiare per effetto del rumore antropico prodotto dalle attività sportive (mountain bike e trail in estate, sci in inverno), turistiche (escursionismo), agricole (generatori elettrici, motoseghe, trattori, ...) che emerge in maniera più o meno evidente dal rumore di fondo di origine naturale.

In particolare, nei contesti a basso rumore di fondo, assai frequenti nelle aree esaminate, l'impatto di singoli eventi sonori è particolarmente rilevante ed è stato valutato mediante i descrittori acustici "Intermittency Ratio (IR)" e "Harmonica (HRM)". In merito a quest'ultimo indice, si è osservato che la sua applicazione ad aree molto quiete può presentare delle criticità.

Si è proceduto anche ad una classificazione statistica dei rilievi acustici su base oraria a supporto della gestione del territorio.

Parole chiave: aree alpine, ambiente sonoro, descrittori acustici

Survey on the sonic environment in some alpine areas of Aosta Valley

In May 2022 the Decree of the Ministry of Ecological Transition (MITE) on "Definition of the modalities for the identification and management of quiet areas inside agglomerations and in the countryside" would give a boost to the promotion of quiet areas and the preservation of the environment acoustic quality where it is already good.

In Aosta Valley, an alpine region characterized and appreciated for its high values of natural environment, with large uninhabited areas and far from non natural sound sources, a wide variety of ambient noise levels are observed, both as a result of natural sound sources and those related to human activities, mainly with a sporting-tourist feature.

This paper analyses the results of previous sound surveys carried out in rural areas in the countryside of the Chamois Municipality in three different seasons, namely summer, autumn and winter. In such periods the acoustic environment, characterized mainly by the natural sounds, can change due to the noise produced by man-made sports (mountain biking and trail in summer, skiing in winter), tourism (hiking), agricultural activities (electric generators, chainsaws, tractors, ...) which emerges more or less clearly from the background natural noise.

In particular, in low background noise contexts, very frequent in the areas examined, the impact of individual sound events is particularly important and has been evaluated using the acoustic descriptors "Intermittency Ratio (IR)" and "Harmonica (HRM)". With regard to the latter index, it has been observed that its application to very quiet areas may present critical issues. A statistical classification of the hourly acoustic data was also performed to support the land management.

Keywords: alpine areas, sonic environment, acoustic descriptors

1 | Introduzione

Tra le varie finalità della direttiva europea 49/2002/CE (END) [1] è da sottolineare l'importanza di avere introdotto la tutela delle aree quiete sia negli agglomerati che nelle aree extraurbane. L'attenzione nei confronti delle aree quiete è in aumento, essendo queste minacciate dal crescente inquinamento acustico e dalla sua pervasività [2]. Lo dimostrano i vari rapporti della Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) [3,4] che ha messo a punto anche specifiche metodologie per quantificare il descrittore "Quietness Suitability Index (QSI)" [2], con valori compresi tra 0 e 1, ottenuto come combinazione dei valori limite di rumore (mappe isolivello richieste dalla END), l'utilizzo del suolo e gli elementi di copertura del suolo percepiti come positivi e di solito legati alla costruzione culturale umana della naturalezza.

In ottemperanza alla direttiva, a maggio 2022 è stato pubblicato il Decreto del Ministero della Transizione Ecologica (MITE) sulla "Definizione delle modalità per l'individuazione e la gestione delle zone silenziose di un agglomerato e delle zone silenziose in aperta campagna, in ottemperanza al comma 10-bis, articolo 4 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 194" [5] con il quale si intende dare un impulso alla promozione delle aree quiete e alla conservazione della qualità acustica dell'ambiente laddove questa sia buona.

È opportuno sottolineare che con il termine "quiete" si indica una condizione di tranquillità ambientale che potenzialmente contribuisce e promuove il riposo del corpo, o che dà serenità allo spirito e, non necessariamente, corrispondente al silenzio. In questa ottica il termine "zone silenziose", ripreso nella normativa italiana, sembra essere fuorviante, o comunque poco appropriato. Al conseguimento della condizione di quiete, o "calma", può concorrere, infatti, la presenza di suoni desiderati, quali quelli naturali dovuti alla biofonia (suoni creati dagli organismi viventi quali insetti, uccelli, ecc.) e alla geofonia (suoni dell'ambiente come per esempio il vento, l'acqua, ecc.). Questi suoni, infatti, risultano molto più accettabili di quelli tecnologici e antropici.

L'importanza delle aree quiete e la necessità di una loro efficace tutela e promozione è ampiamente riconosciuta, non solo a livello legislativo. Queste aree, che a prima vista possono sembrare un vincolo allo sviluppo del territorio, in realtà costituiscono una occasione imperdibile per valorizzare il territorio, tutelandone la biodiversità e incentivando modalità di turismo ecosostenibili. Un contributo al riguardo può essere già rappresentato dalle aree inserite nella rete "Natura 2000" [6], lo strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità, istituito ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e s.m.i. [7], per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciati o rari a livello comunitario. La rete "Natura 2000" è costituita dai Siti di Interesse Comunitario (SIC), identificati dagli Stati Membri e successivamente designati quali Zone Speciali di Conservazione (ZSC), comprendendo anche le Zone di Protezione Speciale (ZPS). Le aree individuate non sono riserve rigidamente protette dove le attività umane sono escluse, bensì si intende garantire la protezione

della natura e il mantenimento di un equilibrio tra questa e le attività antropiche. Secondo l'analisi dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) [4], circa il 27% dei siti protetti di Natura 2000 in Europa presenta ampie zone di tranquillità, mentre il 20% è potenzialmente esposto all'inquinamento da rumore. In Italia, i SIC, le ZSC e le ZPS coprono complessivamente circa il 19% del territorio terrestre nazionale e quasi il 4% di quello marino.

Tra i requisiti non acustici introdotti dal Decreto del MITE per l'individuazione delle zone silenziose in aperta campagna, siano esse esistenti o pianificate, è indispensabile la loro accessibilità e pubblica fruizione. Per svolgere l'essenziale finalità di ristoro, almeno temporaneo, dagli effetti nocivi dell'esposizione al rumore sulla salute umana è necessario che all'interno di tali aree, caratterizzate da un'accentuata naturalità, siano impediti aumenti del rumore ambientale al fine di perseguire e conservare la loro buona qualità acustica.

In questo contesto si inserisce il presente lavoro che ha preso spunto da un'indagine sull'ambiente sonoro in alcune località alpine della Valle d'Aosta ad accentuata connotazione turistica e sportiva [8]. In particolare, l'analisi dei dati acustici disponibili è stata orientata alle seguenti finalità:

- valutare la variabilità stagionale dell'ambiente sonoro in relazione anche alle diverse attività antropiche svolte;
- individuare e caratterizzare gli eventi sonori mediante l'indicatore "Intermittency Ratio (IR)" e confrontarlo con la componente degli eventi sonori EVT dell'indice Harmonica (HRM) in contesti a basso rumore di fondo, assai frequenti in aree naturali a bassa o nulla antropizzazione;
- valutare la criticità dell'applicazione dell'indice Harmonica (HRM) nei contesti suddetti, parzialmente risolvibile con una riformulazione dell'indice stesso;
- classificare su base statistica dei dati acustici orari a supporto della eventuale scelta di interventi di gestione delle attività sul territorio finalizzati a ridurre l'impatto acustico.

L'approccio metodologico utilizzato per le questioni affrontate è di qualche interesse per una sua possibile estensione ad altre aree quiete naturali extraurbane.

2 | L'area di indagine

L'indagine acustica ha riguardato tre aree ubicate nel territorio del Comune di Chamois in Valle d'Aosta, noto per l'attenzione verso un turismo a mobilità dolce e inserito tra i Comuni "Perle delle Alpi". Chamois è, infatti, l'unico Comune italiano sulla terraferma ove non circolano automobili e, pertanto, raggiungibile solo a piedi, in bicicletta o attraverso la funivia che parte dal fondovalle.

In particolare, sono stati esaminati i dati acustici rilevati nel centro abitato di Chamois e nel territorio a nord, ossia la parte intermedia (lago di Lod) e quella alta (Teppa), vocato agli sport invernali, ma anche sede di altre attività, agricole di alpeggio (transumanza estiva) e turistiche (trekking, escursioni in bicicletta...) nelle altre stagioni.

Il monitoraggio acustico, eseguito sia su periodi prolungati che su periodi più brevi, è stato condotto in tre diverse stagioni (estate, autunno e inverno) e ha permesso di raccogliere un consistente insieme di dati: 455 ore di rilevamento continuo non presidiato e 75 rilievi presidiati da 10 minuti ciascuno.

2.1 | Metodologia dei rilievi fonometrici

Nella Tabella 1 sono riportati i dati principali riguardanti i siti di misura prescelti nelle tre aree del Comune e il numero di ore di monitoraggio acustico continuo non presidiato di lungo periodo (L), eseguito nelle tre stagioni di estate (E), autunno (A) e inverno (I), indicati nella Figura 1. Il microfono è stato posizionato ad altezze dal suolo variabili da 2 a 4 m in funzione del sito, ma mantenuto alla stessa altezza nelle tre differenti stagioni.

Tab. 1 – Località per il monitoraggio acustico non presidiato di lungo periodo L
Locations of unattended long-term (L) environmental noise monitoring

Località	Descrizione	Stagione	Durata del monitoraggio [ore]
Chamois	Municipio, piazza principale del centro abitato	E	45
		A	46
		I	24
Lod	Stazione di arrivo della seggiovia da Chamois	E	43
		A	22
		I	95
Teppa	Stazione intermedia della seggiovia	E	41
		A	44
		I	95



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 – Punti di misura prescelti: (a) centro abitato di Chamois (1819 m s.l.m.), (b) lago di Lod (2029 m s.l.m.), (c) Teppa (2248 m s.l.m.). Rilevamento prolungato (L), simbolo stella; rilievi presidiati (codice numerico), simbolo rombo. Immagini aeree da geonavigatore cartografico SCT della Regione Valle d'Aosta
Selected measurement points: (a) Chamois built-up area (1819 m above sea level), (b) Lod lake (2029 m above sea level), (c) Teppa (2248 m above sea level). Long-term monitoring (L), star symbol; attended short-term monitoring (numbers), diamond symbol. Aerial views from cartographic geonavigator of Aosta Valley Region

Durante i monitoraggi acustici non presidiati di lungo periodo (L) si è proceduto anche a rilievi presidiati di breve periodo (10 minuti) nei siti maggiormente antropizzati e indicati con codice numerico nella Figura 1, con esclusione della località Teppa in cui, essendo un'area più remota, i livelli rilevati nella postazione fissa sono stati considerati significativi di tutta l'area circostante. I rilievi brevi, ripetuti per tutte le tre stagioni (Tab. 2), sono stati eseguiti in 4 diverse fasce orarie per tracciare, per quanto possibile, la variabilità dei livelli sonori nell'arco della giornata.

Tab. 2 – Località e punti di misura presidiati di breve periodo (10 minuti)
Locations and attended short-term measurement points (10 minutes)

Località	Punto di misura	Descrizione del sito	N. intervalli di monitoraggio da 10 minuti		
			Stagione		
			E	A	I
Chamois	1	Centro dell'abitato, strada verso Lod	4	4	4
	2	Strada rurale verso La Magdeleine	4	4	4
	3	Terrazza panoramica, funivia	4	4	4
	4	Ingresso cimitero, funivia	4	4	4
Lod	1	Area picnic prossima al lago	2	2	2
	2	Area centrale tra le baite	2	2	2
	3	Terrazza panoramica su Chamois	2	2	2
	4	Cortile di una baita vicino a seggiovia	2	2	2
	5	Sentiero vicino al lago	1	1	1

I rilievi di breve periodo sono stati eseguiti con cielo prevalentemente sereno e con assenza di precipitazioni atmosferiche e di vento sostenuto. Nel periodo invernale in tutti i siti di misura il suolo era abbondantemente ricoperto di neve.

In tutti i rilievi il microfono è stato posizionato a circa 1,5 m dal suolo in accordo con l'ipotetica posizione di una persona. La Figura 2 illustra due esempi di siti di misura scelti in località Lod, mentre la Tabella 3 riassume il numero e la durata di tutti i monitoraggi acustici effettuati.



(a)



(b)

Fig. 2 – Esempi di punti di misura scelti in località Lod:
(a) monitoraggio non presidiato di lungo periodo (L),
(b) monitoraggio presidiato di breve periodo

Examples of measurement points selected at Lod location:
(a) unattended long-term monitoring (L),
(b) attended short-term monitoring

Tab. 3 – Località e numero di ore complessive di monitoraggio acustico

Locations and overall hours of environmental noise monitoring

Località	N. rilievi prolungati non presidiati	N. ore monitoraggio prolungato	N. rilievi brevi (10') presidiati	N. ore monitoraggio breve
Centro abitato (1819 m s.l.m.)	3	115	48	8
Lod (lago) area sciistica intermedia (2029 m s.l.m.)	3	160	27	4,5
Teppa area sciistica alta (2248 m s.l.m.)	3	180	/	/

Per completezza la Tab. 4 riporta le distanze dal punto di misura delle sorgenti sonore presenti nelle aree di monitoraggio e nell'ultima colonna a destra la classe della zonizzazione acustica assegnata e quella attribuita a livello stagionale. Tale opportunità è prevista dalla normativa regionale della Valle d'Aosta per la classificazione acustica di aree interessate dalla frequentazione turistica in particolari momenti dell'anno e, a questo fine, appositamente dotate di specifiche infrastrutture.

Tab. 4 – Distanza [m] dalle principali sorgenti sonore presenti nell'area di monitoraggio

Distance [m] from main sound sources present in the monitoring area

Località	Punto di misura	Luoghi di aggregazione	Impianti di risalita segg./ funivia	Strade (SR=Strada Regionale)	Alpeggi	Torrenti/laghi	Classe zonizzazione (classe stagionale)
Chamois (abitato)	L	20-30	60-120	1350 da SR	Presenza di aziende agricole fisse nel villaggio	150 da torrente	IV (IV)
	1	70	115-185	1430 da SR		195 da torrente	IV (IV)
	2	40	180-240	1490 da SR		140 da torrente	IV (IV)
	3	20	85-25	1250 da SR		155 da torrente	IV (IV)
Lod (lago)	4	100	80-140	1190 da SR		230 da torrente	III (III)
	L	65	30 da arrivo seggiovia	1400 da SR	700 (Alpe Charavellessaz)	800 da torrente e 50 da lago	IV (IV)
	1	dentro area picnic 155 da ristoranti	120 da arrivo seggiovia	1310 da SR	790 (Alpe Charavellessaz)	800 da torrente e 40 da lago	IV (IV)
	2	10	35 da arrivo seggiovia	1480 da SR	630 (Alpe Charavellessaz)	800 da torrente e 30 da lago	IV (IV)
	3	30	90 da arrivo seggiovia	1530 da SR	600 (Alpe Charavellessaz)	800 da torrente e 90 da lago	III (III)
Teppa	4	40 da picnic 100 ristoranti	90 da arrivo seggiovia	1350 da SR	770 (Alpe Charavellessaz)	770 da torrente e 75 da lago	IV (IV)
	5	130 (inverno inroulant mezzo)	30 tapis 100 da seggiovie	1500 da SR	600 (Alpe Charavellessaz)	930 da torrente e 25 da lago	IV (IV)
	L	30 piste sci	30-100 da seggiovie	2300 da SR	325 (Alpe Glavin)	870 da lago	III (IV)

L'insieme dei dati raccolti nei 12 siti è stato analizzato utilizzando uno script sviluppato nella piattaforma software "R" [9] che, oltre alla importazione dei dati, procede al calcolo dei parametri acustici elencati in Tab. 5 a partire dall'andamento nel tempo dei valori di short L_{Aeq} con risoluzione temporale di 1 s.

Tab. 5 – Descrittori acustici calcolati dallo script sviluppato nella piattaforma software “R”
Acoustic parameters computed by the script developed in “R” software platform

Livello continuo equivalente L_{Aeq} [dB(A)]
Deviazione standard degli short $L_{Aeq,1s}$ [dB(A)]
Livelli percentili L_{A10} , L_{A90} e L_{A95} [dB(A)]
Clima di rumore $L_{A10} - L_{A90}$ [dB(A)]
Intermittency Ratio IR [%]
Livello continuo equivalente del percentile LA95 LA95eq [dB(A)] e differenza LA95eq - LA95 [dB(A)]
Componente “background noise” BGN in HRM
Componente “event noise” EVT in HRM
Harmonica index HRM
Harmonica modificato HRMc

Oltre ai comuni parametri acustici L_{Aeq} e livelli percentili, l'Intermittency Ratio (IR) è tra i numerosi indici introdotti per descrivere la variabilità nel tempo dei livelli sonori, in particolare quella dovuta agli eventi associati al transito di mezzi di trasporto. È noto, infatti, che il disturbo da rumore dipende non solo dall'entità dell'energia sonora, descrivibile con il livello L_{Aeq} , ma anche dalle fluttuazioni nel tempo di tale energia, risultando potenzialmente più disturbante, a parità di energia, per i rumori fluttuanti rispetto a quelli stazionari. La formulazione originaria dell'indice IR è [10]:

$$(1) \quad IR = \frac{10^{0.1L_{Aeq,T,events}}}{10^{0.1L_{Aeq,T}}} \cdot 100[\%] \quad [\%]$$

ove: $L_{Aeq,T,events}$ è il livello equivalente complessivo dei soli eventi sonori individuati al di sopra della soglia K e rapportato al tempo totale T [dB(A)] e $L_{Aeq,T}$ è il livello equivalente complessivo rapportato sempre al tempo totale T [dB(A)]. La soglia K per l'individuazione degli eventi è definita come:

$$(2) \quad K = L_{Aeq,T} + C \quad [dB]$$

ove C = 3 dB per il rumore stradale. Per definizione il valore di IR è compreso tra 0 e 100; valori elevati (> 50%) evidenziano la presenza di eventi chiaramente distinguibili e molto pronunciati rispetto al livello $L_{Aeq,T}$. Nella presente indagine il valore di C per la definizione di K è stato assunto pari a 3, pur non trattandosi quasi mai di eventi associati al transito di autoveicoli, ma per lo più di trattori agricoli e fuoristrada.

Sono stati considerati anche altri descrittori delle fluttuazioni nel tempo del livello sonoro, come lo scarto s [dB(A)] dei valori di short $L_{Aeq,1s}$ e il clima di rumore calcolato come indicato in Tabella 5.

Un ulteriore descrittore considerato nel presente studio, e ritenuto interessante per descrivere le aree montane ad accentuata naturalità e interessate anche da attività antropiche a carattere stagionale, è stato l'indice Harmonica (HRM), proposto con l'intento di una più agevole comprensione da parte della popolazione e, quindi, più adeguato per la comunicazione al pubblico [11]. L'indice HRM, formulato per avere valori

compresi tra 0 e 10, è ottenuto dalla somma aritmetica del descrittore “background noise” (BGN) e di quello degli eventi sonori (EVT), ossia:

$$(3) \quad HRM = BGN + EVT$$

ove EVT è calcolato con la relazione:

$$(4) \quad EVT = 0,25 [L_{AeqT} - [(L_{A95})_w]_{eq}]$$

con $[(L_{A95})_w]_{eq}$ pari al livello equivalente dei livelli percentili $(L_{A95})_{[i,i+w]}$ determinati su una finestra temporale mobile di ampiezza $w = T/6$ [s] e passo $i = 1$ [s]:

$$(5) \quad [(L_{A95})_w]_{eq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T-w} \sum_{i=0}^{T-w} 10^{[(L_{A95})_{[i,i+w]}/10]} \right] \quad [dB(A)]$$

e BGN pari a:

$$(6) \quad BGN = 0,20 [[(L_{A95})_w]_{eq} - 30] \quad [dB(A)]$$

Poiché il parametro $[(L_{A95})_w]_{eq}$ non è ottenibile direttamente dalla strumentazione si è voluto valutare quanto esso si discosti dal livello percentile L_{A95} , fornito invece dalla strumentazione, e calcolare il valore di HRM_{95} ottenuto sostituendo nelle equazioni (4) e (6) il valore di L_{A95} a quello di $[(L_{A95})_w]_{eq}$.

3 | Risultati e discussione

Il consistente insieme di dati acustici acquisiti (Tab. 6) e di risultati ottenuti per i vari descrittori acustici è analizzabile secondo molteplici aspetti.

Tab. 6 – Distribuzione dei rilevamenti orari e di breve periodo (10 minuti) tra le località e le stagioni
Distribution of hourly and short-tem (10 minutes) monitoring over locations and seasons

Località/Stagione	Estate	Autunno	Inverno	Totale
Chamois	61	62	40	163
Lod	52	31	104	187
Teppa	41	44	95	180
Totale	154	137	239	530

3.1 | Variabilità temporale dei livelli sonori

A titolo descrittivo, si riportano i box plot, diversificati per le tre stagioni, dei livelli L_{Aeq} per i rilevamenti di breve (B) e lungo (L) periodo, quest'ultimi su base oraria, nell'abitato di Chamois in Fig. 3(a) e il confronto per i rilevamenti di lungo periodo, sempre su base oraria, eseguiti nelle tre località in Fig. 3(b). I numeri sugli assi delle ascisse indicano la dimensione campionaria dei rilevamenti, su base 10 minuti per quelli di breve periodo e oraria per quelli di lungo periodo.

Si osserva una maggiore variabilità dei livelli L_{Aeq} per i rilevamenti di breve periodo e, per la stagione invernale, anche per quelli di lungo periodo nelle due località, Lod e Teppa, ricomprese all'interno dell'area sciistica con le attività ad essa connesse (bar e ristoranti, innevamento e battitura delle piste, aree di aggregazione di persone).

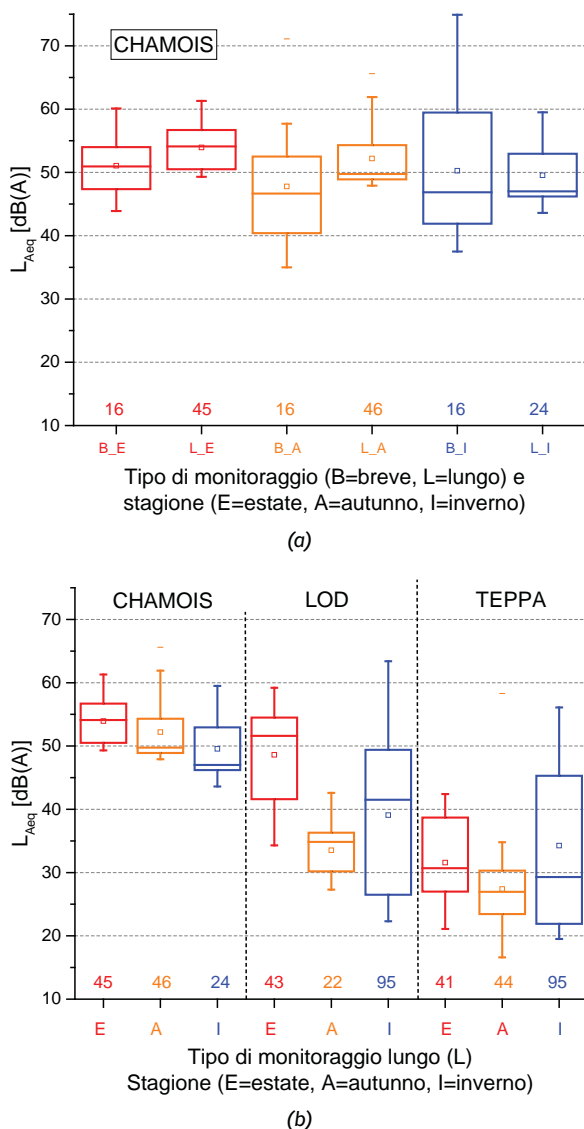


Fig. 3 – Box plot, diversificati per le tre stagioni, dei livelli L_{Aeq} (a) per i rilevamenti di breve (B) e lungo (L) periodo nell'abitato di Chamois e (b) confronto per i rilevamenti di lungo periodo eseguiti nelle tre località

Box plot, for the three seasons, of L_{Aeq} levels (a) for short-term (B) and long-term (L) monitoring in the Chamois built-up area and (b) comparison of long-term monitoring for the three locations

Relativamente ai livelli L_{Aeq} per i tempi di riferimento diurno (ore 6-22) e notturno (ore 22-6), si è dapprima determinato l'andamento medio nelle 24 ore del livello L_{Aeqh} orario sulla base dei rilevamenti a lungo periodo L eseguiti nelle tre località e nelle tre stagioni (Fig. 4). Nel centro abitato di Chamois si osservano livelli L_{Aeqh} maggiori rispetto alle altre due località che si trovano più lontane dal centro abitato, ma nelle quali è evidente l'impatto che, in inverno, è prodotto dalle attività sciistiche dalle ore 8 alle 17.

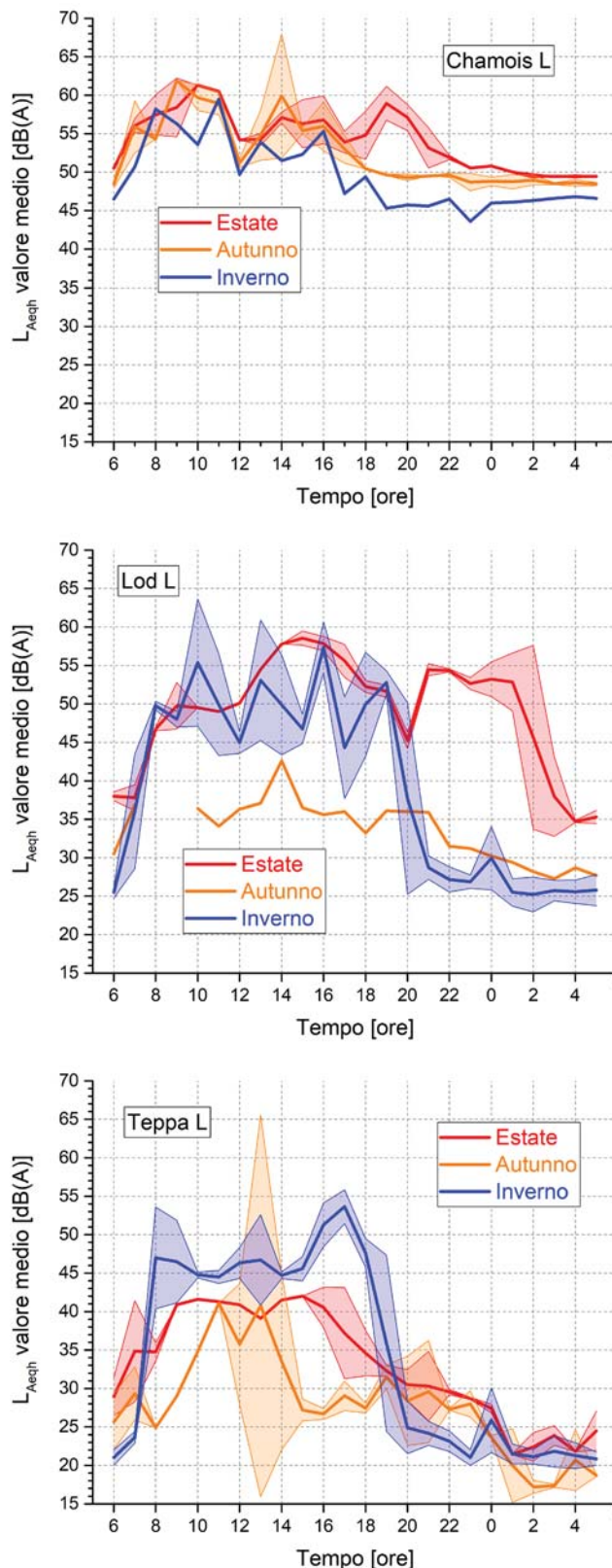


Fig. 4 – Andamento medio nelle 24 ore del livello L_{Aeqh} orario sulla base dei rilevamenti a lungo periodo L eseguiti nelle tre località e nelle tre stagioni
24-hour average hourly L_{Aeqh} pattern from long-term monitoring (L) performed in the three locations and seasons

In base a questi andamenti temporali medi di L_{Aeqh} , è possibile estrapolare i valori dei livelli L_{Aeqh} da quelli ottenuti nell'intervallo di 10 minuti nei vari siti selezionati per i rileva-

menti a breve periodo. Questa estrapolazione si basa su una duplice ipotesi:

- che il valore del livello L_{Aeqh} estrapolato coincida con il livello $L_{Aeq,10min}$ rilevato;
- che l'andamento medio nel tempo dei livelli L_{Aeqh} ottenuto dal monitoraggio a lungo periodo rimanga inalterato nei punti di monitoraggio a breve periodo ma, ovviamente, con valori assoluti diversi per singolo intervallo orario.

Tale andamento, pertanto, è traslato sull'asse dei valori di L_{Aeqh} con il metodo dei minimi quadrati, tenendo conto dei livelli $L_{Aeq,10min}$ rilevati. Un esempio di tale estrapolazione è riportato nella Figura 5 per il sito 1 nell'abitato di Chamois per le tre stagioni. Con la linea tratteggiata è riportato l'andamento medio dei livelli L nel tempo di riferimento diurno determinati dai corrispondenti rilevamenti a lungo periodo L .

La Tabella 7 riporta i valori di L_{AeqTR} relativi agli andamenti medi nelle 24 ore del livello L_{Aeqh} orario ottenuti dai rilevamenti a lungo periodo L e quelli determinati per i rilevamenti di breve periodo mediante l'estrapolazione del valore orario sopra descritta. Per la determinazione di L_{AeqTR} notturno per i rilevamenti brevi, non essendo stati eseguiti rilevamenti in tale periodo, si è fatto riferimento alla differenza media $L_{Aeqd} - L_{Aeqn}$ ottenuta per il rilevamento orario notturno di lungo periodo L .

I valori ottenuti danno una chiara indicazione della variabilità nel tempo dei livelli sonori tra località, siti e stagioni. In riferimento ai limiti corrispondenti alle classi attribuite ai vari siti dalla zonizzazione acustica (vedi Tab. 4), si osservano rari superamenti evidenziati in rosso nella Tabella 7.

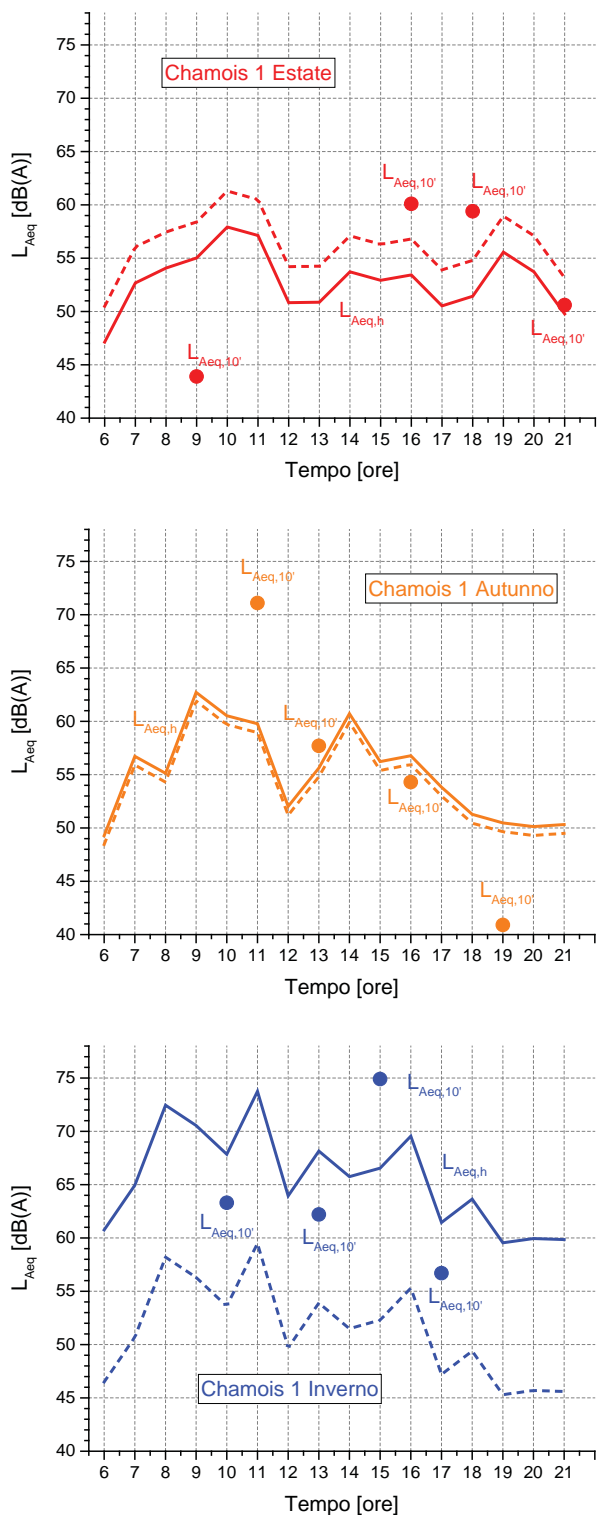


Fig. 5 – Estrapolazione del livello L_{Aeqh} orario sulla base dei rilevamenti a breve periodo eseguiti nel sito 1 dell'abitato di Chamois (Fig. 1a) nelle tre stagioni. Con la linea tratteggiata è riportato l'andamento medio dei livelli L_{Aeqh} nel tempo di riferimento diurno determinati dai corrispondenti rilevamenti a lungo periodo L
Estimate in the day-time (6-22 h) of the hourly L_{Aeqh} levels from short-term monitoring at measurement point 1 in the Chamois built-up area (Fig. 1a) in the three seasons. Dashed lines refer to the average hourly L_{Aeqh} level in the day-time determined from corresponding long-term monitoring (L)

Tab. 7 – Livelli L_{AeqTR} per i tempi di riferimento diurno e notturno per le varie località, punti di misura e stagioni. Il valore in rosso indica il superamento del valore limite
 L_{AeqTR} levels referred to the day- and night-time for the three locations, measurement points and seasons. The number in red points out the exceedance of the noise limit

Località	Punti di misura	Estate		Autunno		Inverno	
		ore 6-22	ore 22-6	ore 6-22	ore 22-6	ore 6-22	ore 22-6
Chamois	L	57,0	50,0	56,0	49,0	53,5	46,0
	1	53,5	46,5	57,0	49,5	68,0	60,5
	2	52,5	45,5	50,0	42,5	55,0	47,5
	3	50,0	43,0	47,0	39,5	45,0	37,5
	4	53,0	46,0	45,0	37,5	47,5	40,0
Lod	L	53,5	50,5	37,0	29,5	50,5	27,0
	1	51,0	48,0	32,0	25,0	45,0	21,0
	2	58,0	55,0	37,0	30,0	65,0	41,5
	3	51,5	48,5	33,0	26,0	49,5	25,5
	4	50,0	47,0	34,5	28,0	49,0	25,0
Teppa	L	39,0	26,0	34,0	23,5	46,5	22,5

3.2 | Sorgenti sonore dell'ambiente sonoro

In merito alle tipologie di sorgenti sonore presenti durante i rilevamenti di breve periodo nei vari siti e stagioni, la Tabella 8 ne riporta le occorrenze, ricavate dalle osservazioni trascritte dall'operatore, distinguendo le sorgenti nelle categorie di ge-

ofonia (vento, acqua, foglie, ecc.), biofonia (uccelli e altri animali), antropofonia (voci, passi, grida, ecc.) e tecnofonia (macchinari, traffico, musica, campane, ecc.).

Tab. 8 – Occorrenza delle varie tipologie di sorgenti sonore individuate durante i rilevamenti a breve periodo nelle varie località, punti di misura e stagioni

Number of occurrences of the sound source types detected during the short-term monitoring in the locations, measurement points and seasons

Località	Punto di misura	Geofonia			Biofonia			Antropofonia			Tecnofonia		
		E	A	I	E	A	I	E	A	I	E	A	I
Chamois	1	2	1	1	1			1	1			1	1
	2	2	1	2	1	1		1	1				
	3	2		1	1			1	1		1	2	3
	4	1		1	1			1	1	1	1	2	2
Lod	1	2			1	1				2	2	1	
	2		1				1		1	2	1	2	
	3	1		1	1	1				1	2	3	1
	4		1		1						2	1	3
	5				1	1		1	1	1	1		1

3.3 | Identificazione e caratterizzazione degli eventi sonori

La presenza di eventi sonori chiaramente distinguibili rispetto al rumore di fondo può essere in prima istanza valutata in base all'Intermittency Ratio. La Tabella 9 riporta la percentuale di rilevamenti con valori di IR $\geq 50\%$, ossia con eventi che contribuiscono oltre il 50% al valore di L_{Aeq} , diversificata per località e stagioni. Più del 50% degli eventi sonori osservati in Teppa hanno valori di IR $> 50\%$, mentre nelle altre due località la percentuale è nell'intervallo 31-40%. La stagione invernale è più ricca di eventi con IR $> 50\%$ in Chamois e Lod, mentre in Teppa ciò si osserva in autunno.

Tab. 9 – Percentuale di rilevamenti con valori di IR $\geq 50\%$
Percentage of measurements with IR $\geq 50\%$

Località	Estate	Autunno	Inverno	Totale
Chamois	34,4	35,5	55,0	39,9
Lod	11,5	35,5	40,4	31,6
Teppa	46,3	75,0	45,3	52,8

La Figura 6, invece, riporta l'andamento nelle 24 ore dei valori medi orari di IR per i monitoraggi a lungo termine nelle tre località, diversificati per stagione. La rilevanza degli eventi sonori è maggiore nel periodo diurno (ore 6-22) e ciò, verosimilmente, è imputabile alle varie attività antropiche. Una maggiore incidenza degli eventi si osserva in autunno e in inverno.

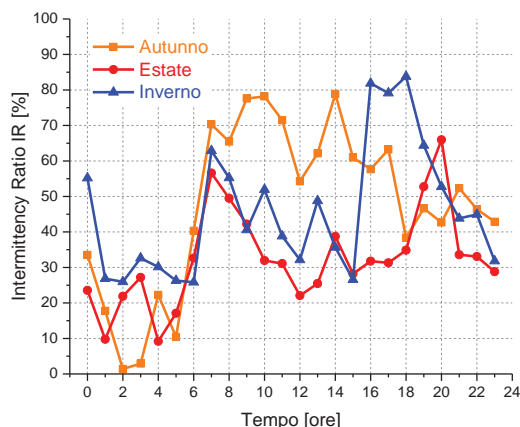


Fig. 6 – Andamento nelle 24 ore dei valori medi orari di IR per i monitoraggi a lungo termine nelle tre località, diversificati per stagione

Hourly pattern of IR average values determined for long-term monitoring in the three sites for each season

Un esempio di restituzione grafica dei valori orari determinati con lo script sviluppato in ambito "R" è riportato nella Figura 7 per i livelli L_{Aeqh} , l'Intermittency Ratio IR e l'indice Harmonica HRM corrispondenti al monitoraggio continuo nel lungo periodo nel centro abitato di Chamois in estate. Si osserva che nei due tempi di riferimento notturno non sono presenti eventi significativi e, comunque, tali da determinare valori pressoché nulli per IR a fronte di un L_{Aeq} che si mantiene costantemente appena al di sotto di 50 dB(A) per effetto dell'influenza sul sito del rumore dello scroscio delle acque di un torrente che scorre nel fondovalle.

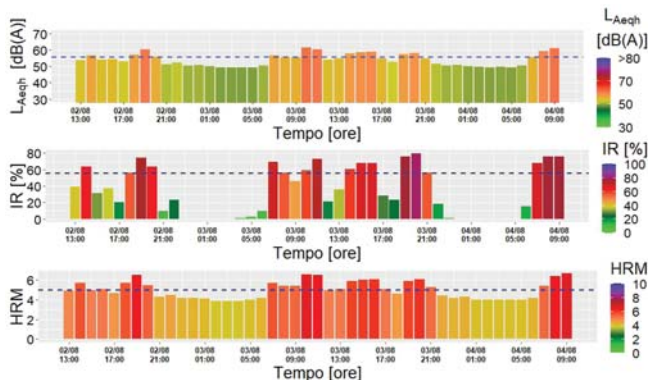


Fig. 7 – Esempio di rappresentazione grafica dei livelli L_{Aeqh} orari, dell'Intermittency Ratio IR e dell'indice Harmonica HRM determinati dal monitoraggio continuo nel lungo periodo nel centro abitato di Chamois in estate. La linea tratteggiata blu corrisponde alla media aritmetica dei valori orari di ciascun parametro

Example of plots of L_{Aeqh} , IR and HRM hourly values computed from the long-term monitoring in the Chamois built-up area in summer. The blue dashed horizontal lines correspond to the arithmetic average of the hourly parameter values

3.4 | Criticità dell'applicazione dell'indice HRM in contesti non urbani

Il calcolo delle due componenti BGN ed EVT dell'indice Harmonica HRM secondo le relazioni (6) e (4) ha fornito i valori orari riportati nella Figura 8.

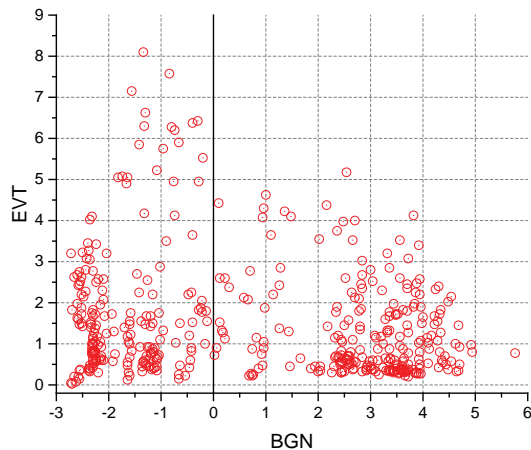


Fig. 8 – Valori orari delle due componenti BGN ed EVT dell'indice Harmonica HRM
Hourly values of the two components BGN and EVT of the Harmonica index HRM

Per una buona frazione dei dati orari (44,8%) si ottengono valori negativi per il rumore di fondo BGN in quanto il valore di $[(L_{A95})_{w,eq}]$ è inferiore al valore soglia di 30 dB(A) impostato nella formulazione originaria (relazione 6). In aree particolarmente quiete, pertanto, il valore HRM tende a diminuire essendo BGN negativo (relazione 3) e può divenire esso stesso negativo (28,1% degli intervalli orari esaminati) qualora la componente degli eventi sonori EVT non sia molto pronunciata.

Per ovviare a questa criticità sono configurabili alcune opzioni, quali abbassare la soglia per $[(L_{A95})_{w,eq}]$ fissandola, ad esempio, a 20 dB(A), oppure assumere BGN = 0 in presenza di valori negativi. In ogni caso la soglia non dovrà mai essere inferiore al rumore autogenerato dalla strumentazione impiegata per il rilevamento.

È evidente che ogni cambiamento rispetto alla formulazione originaria comporta l'impossibilità di confrontare i valori di HRM ottenuti con procedure di calcolo differenti.

3.5 | Livello equivalente $[(L_{A95})_{w,eq}]$ e percentile L_{A95}

Il calcolo di HRM richiede un'elaborazione post-processing della serie temporale dei livelli short $L_{Aeq,1s}$ per determinare il livello equivalente del percentile L_{A95} , non ottenibile direttamente dalla strumentazione corrente diversamente dal livello percentile L_{A95} . Nell'ottica di sostituire nella formulazione di HRM questo secondo parametro statistico, misurabile direttamente dallo strumento, al valore del livello $[(L_{A95})_{w,eq}]$ è stata valutata l'entità della differenza tra questi due parametri, riportata nell'istogramma in Figura 9. Solo nell'1,5% degli intervalli orari si osservano valori negativi per detta differenza, con valore massimo di -0,2 dB(A), mentre nei casi rimanenti il livello $[(L_{A95})_{w,eq}]$ è maggiore del percentile L_{A95} con una differenza non superiore a 2 dB(A) nell'86,8% dei casi. Ciò comporta che la sostituzione di $[(L_{A95})_{w,eq}]$ con l'indice L_{A95} fornisce valori di HRM_{95} maggiori di quelli HRM della formulazione

originaria (Fig. 10), con il duplice vantaggio di un approccio cautelativo e di rendere implementabile il calcolo di HRM_{95} direttamente nella strumentazione agevolandone, così, la diffusione della sua applicazione.

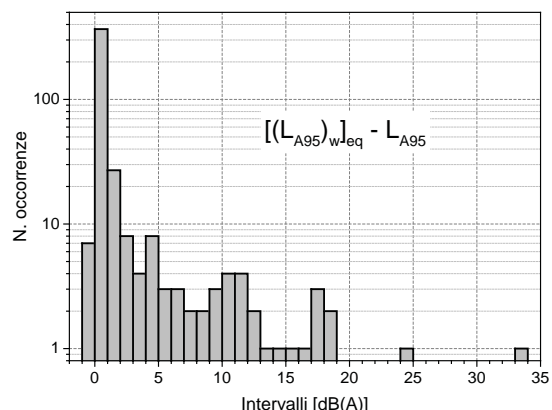


Fig. 9 – Iistogramma delle differenze $[(L_{A95})_{w,eq}] - L_{A95}$
Histogram of the $[(L_{A95})_{w,eq}] - L_{A95}$ differences

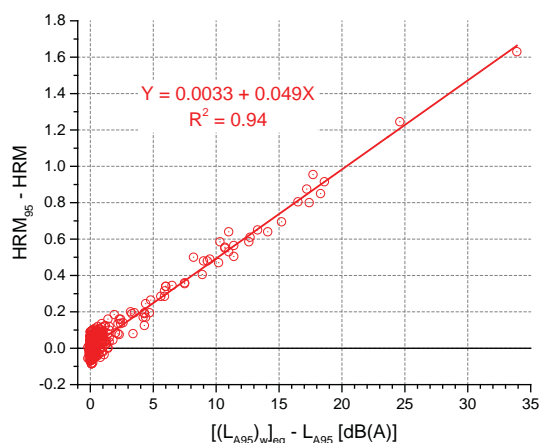


Fig. 10 – Differenze $HRM_{95} - HRM$ in funzione di $[(L_{A95})_{w,eq}] - L_{A95}$
 $HRM_{95} - HRM$ differences versus $[(L_{A95})_{w,eq}] - L_{A95}$

3.6 | Ripartizione statistica dei rilevamenti orari in base ai parametri acustici

Un'ulteriore analisi ha riguardato la correlazione tra tutti i principali descrittori acustici calcolati, riportata nella matrice di Pearson in Figura 11. Appaiono evidenti due gruppi di indicatori: quello nel rettangolo in basso a destra comprendente indicatori tra loro ben correlati (da L_{A95eq} a HRM) pertinenti con l'entità di energia sonora e quello in alto a sinistra (descrittori s, EVT e IR) comprendente indici connessi con le fluttuazioni nel tempo del livello sonoro, come quelle prodotte dalla presenza di eventi sonori chiaramente distinguibili dal rumore di fondo (descrittori EVT e IR). Questo risultato è in linea con quanto già esposto in letteratura [12,13] ed evidenzia la necessità di affiancare al livello continuo equivalente L_{Aeq} , rappresentativo dell'energia sonora complessiva in un determinato intervallo, almeno un altro parametro atto a descrivere la dinamica temporale dei livelli sonori causata da eventi prodotti da sorgenti specifici

che. Questi eventi, tra l'altro, sono identificabili con procedure automatiche [10] se si fa riferimento alla formulazione di IR, in particolare alla soglia K determinata con la relazione (2). Il parametro EVT, invece, è più orientato all'aspetto percettivo di detti eventi che, come noto, sono tanto più potenzialmente disturbanti quanto più distinguibili rispetto al rumore di fondo, come, ad esempio, si osserva spesso nel tempo di riferimento notturno ed in particolare in aree rurali lontane dalle principali città e infrastrutture dei trasporti.



Fig. 11 – Matrice di correlazione di Pearson tra i principali descrittori acustici
Pearson's correlation matrix of the main acoustic parameters

In considerazione dei risultati ottenuti in precedenti indagini [14,15], l'analisi successiva è stata finalizzata a individuare un possibile raggruppamento ("clustering") dei 530 rilevamenti eseguiti sulla base dei valori ottenuti per i descrittori acustici considerati. A tal fine, si è proceduto a una analisi cluster con validazione degli algoritmi di aggregazione eseguita mediante il package "clValid" [16] nella piattaforma software "R". Il processo di validazione individua gli algoritmi di aggregazione con prestazioni ottimali sulla base dei valori assunti dai seguenti sei parametri:

- percentuale media di non sovrapposizione (APN) tra i gruppi;
- distanza media tra i gruppi (AD);
- distanza media tra i valori medi dei gruppi (ADM);
- connessione tra i gruppi, ossia in quale misura gli elementi inclusi in un gruppo corrispondono a quelli che sono vicini nello spazio dei dati;
- "Silhouette width", indicatore della compattezza dei gruppi;
- "Dunn index" indicatore della separazione tra i gruppi.

Essendo i vari parametri acustici determinati su diverse scale di misura è stato necessario procedere a una loro scalatura, a media nulla e scarto unitario, prima di procedere al calcolo della distanza euclidea tra i 530 rilevamenti. Per le modalità di raggruppamento sono stati considerati i nove algoritmi disponibili nel package, comprendenti hierarchical, k-means, self-organizing maps (SOM) and model-based clustering. L'algoritmo corrispondente alla prestazione ottimale è risultato il "partition

around medoids" (pam) con distinzione in tre gruppi. La Fig. 12 illustra la distribuzione dei dati che non presenta sovrapposizioni tra i tre gruppi nelle prime due dimensioni dello spazio dei dati, che complessivamente spiegano l'86% della varianza.

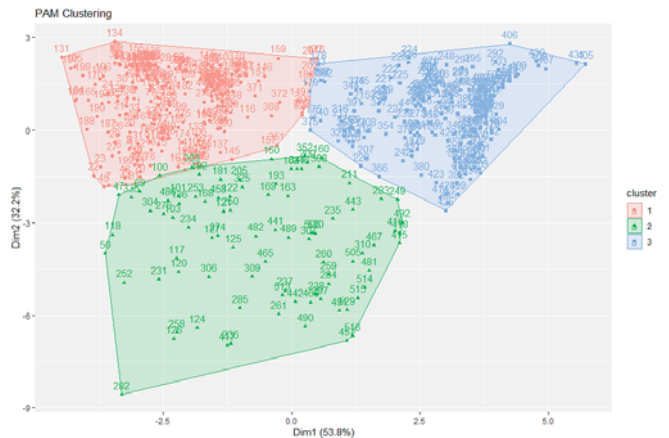


Fig. 12 – Distribuzione dell'insieme dei rilevamenti acustici nelle prime due dimensioni dello spazio di clustering con algoritmo "partition around medoids" (pam) e ripartizione in tre gruppi
Distribution of the acoustic data in the first two dimensions of the clustering space according to the partition around medoid (pam) algorithm and three clusters

Nella Tab. 10 è riportata la percentuale di occorrenza dei rilevamenti nei tre cluster diversificata per località e stagione. Il cluster 1 raggruppa il maggior numero di rilevamenti (44,9%) per la maggior parte (59,7%) eseguiti nella località di Chamois, mentre la maggioranza dei rilevamenti eseguiti in Teppa (59,8%) è inclusa nel cluster 3 e il maggior numero di rilevamenti eseguiti a Lod (45,5%) è nel cluster 2. Relativamente alle stagioni, per il cluster 1 predominano i rilevamenti in estate in Chamois e Lod, rispettivamente 41,5% e 62,1%, e in inverno (73,3%) per Teppa. Nel cluster 2 sono i rilevamenti invernali a predominare in tutte le tre località, così come per il cluster 3 per Lod e Teppa. Questa analisi statistica fornisce una sorta di caratteristiche identitarie di tutto l'insieme dei parametri acustici considerati, in base al quale raggruppare per affinità i dati acquisiti per ciascuna località e stagione.

Tab. 10 – Percentuale di occorrenza dei rilevamenti nei tre clusters
Distribution of the acoustic data [% of occurrence] in the three clusters

Località	Chamois				Lod				Teppa			
	E	A	I	Tot.	E	A	I	Tot.	E	A	I	Tot.
Cluster (%) rilevamenti)												
1 (44,9%)	41,5	38,7	19,7	59,7	62,1	0,0	37,9	27,7	26,7	0,0	73,3	12,6
2 (16,6%)	10,0	30,0	60,0	22,7	20,0	2,5	77,5	45,5	3,6	14,3	82,1	31,8
3 (38,5%)	0,0	100	0,0	0,5	3,7	37,0	59,3	39,7	26,2	32,8	41,0	59,8

Nella Figura 13 è riportato il confronto dei tre cluster identificati dalle medie dei valori scalati per tutti i parametri acustici esaminati. Come già detto è più significativo utilizzare i valori

scalati essendo i vari parametri riferiti a scale dimensionali differenti. Si osserva che il cluster 2 raggruppa i rilevamenti con maggiore variabilità dei livelli sonori (alti valori di s e clima di rumore $L_{A10}-L_{A90}$) e presenza di eventi (alti valori di EVT e IR). Al contrario, il cluster 1 presenta livelli sonori meno variabili (alti valori di BGN, L_{A90} , L_{A95} e L_{A95eq}), mentre il cluster 3 raggruppa i rilevamenti con minori livelli sonori (bassi valori di L_{Aeq}) ma con eventi non marginali (valori intermedi di IR, EVT e $L_{A10}-L_{A90}$).

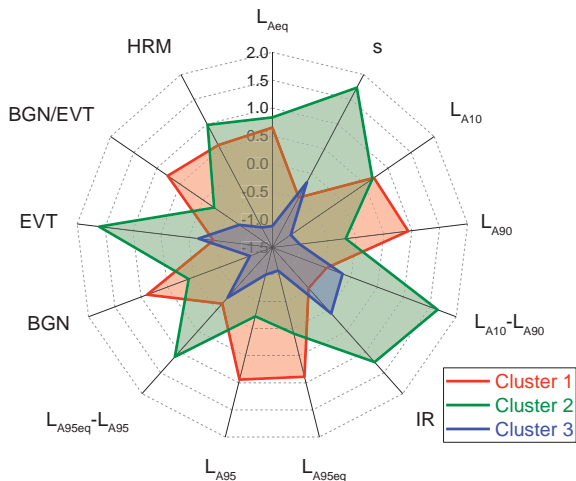


Fig. 13 – Valori medi dei descrittori acustici, scalati a media nulla e scarto unitario, per i tre cluster ottenuti dall’algoritmo “partition around medoids”

Mean values of the scaled acoustic data (mean = 0 and standard deviation = 1) for each of the three clusters obtained by the partition around medoids algorithm

La composizione dei tre cluster è riportata nella Figura 14 mediante i boxplot diversificati per stagione rispetto al livello L_{Aeq} , rappresentativo dell’energia sonora, e al parametro IR, descrittore del contributo degli eventi sonori a tale energia. Quest’ultimo presenta una accentuata variabilità, minore nel cluster 2 per l’autunno e l’inverno ma con valori elevati di IR. Tale andamento trova riscontro nell’ampia variabilità del livello L_{Aeq} , specie per il cluster 2 in autunno. In altri termini ridotta variabilità e valori elevati di IR sono associati a valori L_{Aeq} ad accentuata variabilità nel tempo.

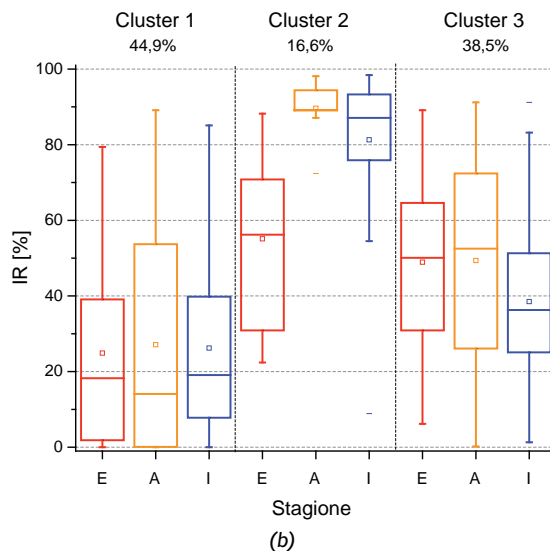
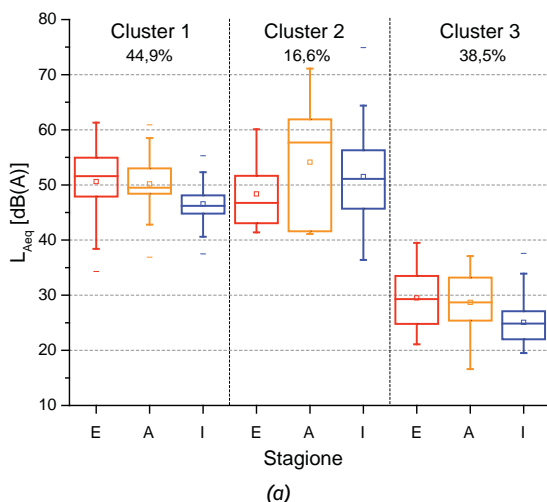


Fig. 14 – Box plot dei valori di L_{Aeq} (a) e IR (b) diversificati per cluster e stagione

Box plot of: (a) L_{Aeq} and (b) IR for each cluster and season

L’ottima correlazione osservata tra il livello L_{Aeq} e l’indice Harmonica HRM ($r = 0,99$ in Fig. 11) è esplicitata anche nella Fig. 15 che riporta la regressione lineare tra i due descrittori, diversificata per i tre cluster. Rispetto a questi due parametri si osserva una parziale sovrapposizione tra i cluster e una sostanziale coincidenza tra le tre rette di regressione. Complessivamente si ottiene:

$$(7) \quad HRM = -5,987 + 0,207L_{Aeq}$$

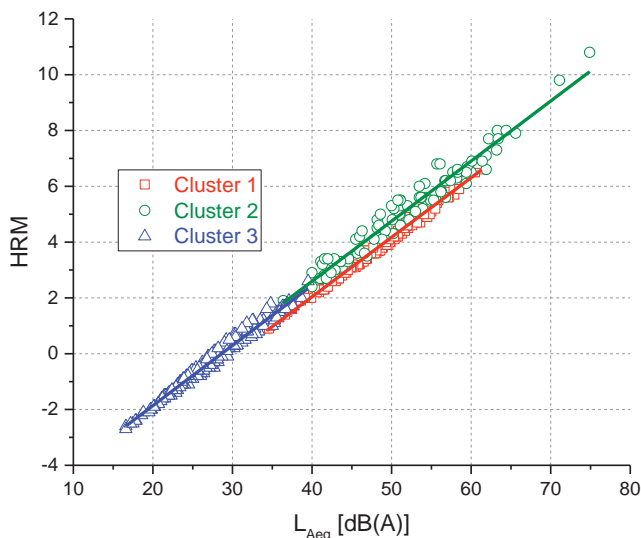


Fig. 15 – Regressione lineare tra livello L_{Aeq} e indice Harmonica HRM, diversificata per cluster

Linear regression between L_{Aeq} and Harmonica (HRM) index for each cluster

È da osservare che il limite assoluto $L_{Aeq} = 50$ dB(A) per il tempo di riferimento diurno e la classe acustica I (aree particolarmente protette) in base alla relazione 7 corrisponde a $HRM = 4,4$ prossimo al valore $HRM = 4$ al di sopra del quale

gli autori proponenti l'indice HRM classificano l'ambiente come "noisy" (25,3% dell'insieme dei rilevamenti della presente indagine).

Conclusioni

Le aree alpine della Valle d'Aosta oggetto della presente indagine costituiscono un contesto ambientale interessante in quanto sono caratterizzate da una accentuata connotazione naturalistica e, nel contempo, presentano una rilevante variabilità stagionale dovuta a diversificate fruizioni del territorio (attività sportive invernali, turismo estivo, attività agricole...) e corrispondenti attività antropiche.

L'analisi del consistente insieme di dati acustici raccolti ha permesso diverse valutazioni dell'ambiente sonoro, tra le quali:

- ampio intervallo di valori per i vari parametri acustici esaminati, ad es. per il livello L_{Aeq} valori tra 16 e 75 dB(A) a conferma dell'ampia varietà dell'ambiente sonoro nelle tre località e nelle diverse stagioni;
- presenza di eventi sonori chiaramente distinguibili dal rumore di fondo, anche se prevalentemente non associati al transito o sorvolo di mezzi di trasporto; al riguardo il valore della soglia K per l'identificazione degli eventi con $C = 3$ dB(A) per il rumore stradale (relazione 2) si è dimostrato valido anche per eventi di diversa natura;
- eventuale possibile riformulazione di HRM per le aree particolarmente quiete per evitare valori negativi del rumore di fondo BGN;
- sostituzione del livello $[(L_{A95})_{w,eq}]$ con il percentile L_{A95} per implementare il calcolo di HRM direttamente nella strumentazione, agevolandone così la diffusione della sua applicazione; i valori leggermente superiori di HRM_{95} che si ottengono con tale sostituzione non pregiudicano la riformulazione dell'indice;
- ripartizione dei rilevamenti eseguiti in tre gruppi sufficientemente distinti e di comparabile dimensione campionaria, caratterizzabili in termini di energia sonora (L_{Aeq}) e variabilità nel tempo dei livelli sonori con presenza di eventi (clima di rumore $L_{A10}-L_{A90}$, EVT, IR);
- ottima correlazione ($r = 0,99$) tra livello L_{Aeq} e indice Harmonica.

L'approccio metodologico utilizzato per le questioni affrontate è di qualche interesse per una sua possibile estensione ad altre aree quiete naturali extraurbane.

Conclusions

The Alpine areas of Aosta Valley analyzed in this survey are an interesting example of the environmental context, as they are characterized by an enhanced naturalistic feature and, at the same time, show a significant seasonal variability due to the different land uses (winter sports activities, summer tourism, agricultural activities...) and corresponding anthropogenic activities.

The analysis of the large acoustic dataset collected has allowed several evaluations of the acoustic environment, among which:

- wide range of values for the acoustic parameters examined (e.g., L_{Aeq} between 16 and 75 dB(A)), confirming the wide variety of the acoustic environment in the three locations and in the different seasons;
- presence of sound events clearly exceeding the background noise, even though they are not predominantly associated with the pass-by or overflight of means of transport; in this respect the K threshold for noise event detection with $C = 3$ dB(A) for road traffic noise (equation 2) has proved to be valid also for events of different nature;
- possible reformulation of HRM for particularly quiet areas to avoid negative BGN background noise values.
- replacement of the $[(L_{A95})_{w,eq}]$ level with the L_{A95} percentile to implement the calculation of HRM directly in the instrumentation, thus facilitating the spread of its application; the slightly higher HRM_{95} values obtained by such substitution do not affect the reformulation of the index;
- distinction of the acoustic data into three groups of comparable sample size, which can be characterised in terms of sound energy (L_{Aeq}) and time variability of sound events (noise climate $L_{A10}-L_{A90}$, EVT, IR);
- very good correlation (Pearson's $r = 0.99$) between L_{Aeq} level and Harmonica (HRM) index;

The methodological approach used for the issues addressed is of potential interest for its application to other natural rural quiet areas.

Bibliografia

- [1] Direttiva 2002/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 giugno 2002, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale. Gazzetta ufficiale delle Comunità europee, L189/12, 18/7/2002.
- [2] Votsi N.-E.P., Kallimanis A.S., Pantis J.D., "The distribution and importance of Quiet Areas in the EU". Applied Acoustics, 127, 207-214, 2017.
- [3] European Environment Agency, "Good practice guide on quiet areas". EEA Technical report N. 4/2014.
- [4] European Environment Agency, "Quiet areas in Europe. The environment unaffected by noise pollution". EEA Report n. 14/2016.
- [5] Decreto Ministero della Transizione Ecologica, "Definizione delle modalità per l'individuazione e la gestione delle zone silenziose di un agglomerato e delle zone silenziose in aperta campagna, in ottemperanza al comma 10-bis, articolo 4 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 194". Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie generale n. 119, 23/05/2022.
- [6] www.mite.gov.it/pagina/rete-natura-2000.
- [7] Direttiva 92/43/CEE del Consiglio 21/05/1992 relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, Gazzetta ufficiale delle Comunità europee, L 206, 22/07/1992.
- [8] Tibone C., Masoero M., Berlier F., Tabozzi G., Crea D., Tartin C., Cappio Borlino M., Agnesod G., "Seasonal Variability of the Acoustic Climate of Ski Resorts in the Aosta Valley Territory". Environments 2020, 7, 18.
- [9] R Core Team (2020), R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

- [10] Wunderli J.M. et al., "Intermittency ratio: A metric reflecting short-term temporal variations of transportation noise exposure". *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 1-11, 2015.
- [11] Vincent B., Gissinger V., Vallet J., Mietlicky F., Champelovier P., Carra S., "How to characterize environmental noise closer to people's expectations". *Proceedings InterNoise 2013*, Innsbruck, 15-18 September 2013.
- [12] Can A., Aumond P., Michel S., de Coensel B., Ribeiros C., Botteldooren D., Lavandier C., "Comparison of noise indicators in an urban context". *Proceedings InterNoise 2016*, Hamburg, Germany, 21-24 August 2016.
- [13] Brambilla G., Benocci R., Angelini F., Zambon G., "Parametri descrittori della dinamica nel tempo del rumore stradale urbano". *Atti AIA 2022*, Matera, 25-27 maggio 2022.
- [14] Tibone C., Crea D., Tartin C., Berlier F., Agnesod G., Cappio Borlino M., Tabozzi G., Delponte L., "Approccio alla caratterizzazione delle aree naturali di montagna: 1996-2018". *Atti AIA Workshop "Sostenibilità delle attività di svago: animazione o quiete?"*, Aosta, 20 giugno 2018.
- [15] Tibone C., Brambilla G., Callegari A., Berlier F., Tartin C., Crea D., Cappio Borlino M., "Applicazione di descrittori di eventi sonori nelle aree di quiete". *Atti Convegno AIA 2022*, Matera, 25-27 maggio 2022.
- [16] Brock G., Pihur V., Datta S., Datta S., "clValid: An R Package for Cluster Validation". *Journal of Statistical Software*, 25(4), 1-22, doi: 10.18637/jss.v025.i04.