

INQUINAMENTO ACUSTICO

Indice

1	Il rumore	3
2	Il concetto di tollerabilità	4
3	Effetti dell'inquinamento acustico	4
4	Le fonti del rumore	6
5	Mezzi di difesa e protezione dall'inquinamento acustico	7
6	Il caso particolare dell'inquinamento acustico marino	8

Introduzione

Un'indagine sulle origini dell'inquinamento acustico e sul suo impatto sulla vita quotidiana. Le sorgenti del rumore, gli effetti dell'esposizione a emissioni sonore disturbanti, i rimedi adottati per contrastare i suoni molesti.



L'**inquinamento acustico** è l'insieme degli effetti negativi prodotti dal **rumore** generato dall'uomo sull'ambiente urbano e naturale. L'art. 2 della *Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico 447/1995* lo definisce precisamente come «l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo e alle attività umane, pericolo per la salute, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno, o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi». Studi recenti dimostrano che il **rumore** è oggi una delle principali cause del peggioramento della qualità della vita nei centri abitati, in particolar modo nelle grandi città. Infatti, nonostante negli ultimi 15 anni sia stata rilevata a livello comunitario una diminuzione dei livelli di rumore più alti nelle aree maggiormente

a rischio, le cosiddette **zone nere**, parallelamente è stato osservato un ampliamento delle **zone grigie**, cioè di quelle con livelli di rumore definiti ...di attenzione..., evento che ha comportato un aumento della popolazione esposta e ha annullato gli effetti positivi del primo fenomeno. Il contesto dell'inquinamento acustico è definito da **4 settori ambientali**, corrispondenti all'**ambiente esterno**, all'**ambiente di vita**, all'**ambiente abitativo** e all'**ambiente di lavoro**, per ciascuno dei quali è possibile individuare **3 elementi ambientali** identificabili con le **sorgenti**, lo **spazio di propagazione delle onde sonore e delle vibrazioni meccaniche** (campo sonoro) e i **recettori**. Per ogni settore e per ogni elemento ambientale il contesto normativo composto dalla **Legge n° 447/1995**, dal decreto attuativo *D.L.277/91* e dalle singole **Leggi Regionali** (per il Piemonte la *n.44 del 26/04/2000* e la *n.52 del 20/10/2000*) definisce le grandezze fisiche relative all'inquinamento e al rischio da rumore, le modalità di misura, i valori limite di emissione delle sorgenti, di immissione e di esposizione per le zone e i recettori, gli atti e le azioni di pianificazione territoriale e le specifiche competenze. L'attuale normativa stabilisce inoltre i principali organi di controllo, di solito identificati nei Comuni e nelle Province, e gli enti preposti all'attività di monitoraggio acustico.

1 Il rumore

Il **rumore** è una vibrazione sonora che provoca sull'uomo effetti disturbanti o dannosi per il fisico e per la psiche, interferendo negativamente sul benessere, sulla salute e sulle diverse attività umane.



Da un punto di vista puramente fisico il rumore ha caratteristiche che si sovrappongono e spesso si identificano con quelle proprie del **suono**, laddove per suono s'intende una variazione di pressione all'interno di un mezzo rilevabile dall'orecchio umano. Il numero delle variazioni di pressione al secondo è chiamato **frequenza del suono** ed è misurato in **Hertz (Hz)**. L'**intensità del suono** percepita nel punto di misura, corrispondente fisicamente all'ampiezza dell'onda di pressione, è espressa in **decibel (dB)**, sottomultiplo del **Bel**. L'orecchio umano può percepire i suoni racchiusi entro la cosiddetta **banda udibile**, caratterizzata da frequenze comprese tra 16 Hz e 16.000 Hz e da livelli di pressione sonora di circa 130 dB. Il range individuato dalla frequenza del suono definisce la **soglia di udibilità**, mentre quello tratteggiato dalla pressione sonora descrive la **soglia di dolore**. Per esprimere con un numero ciò che l'orecchio dell'uomo percepisce come una sensazione uditiva è necessario ricorrere a un apparecchio che misura il livello

sonoro. Il **fonometro** rileva l'intensità di pressione sonora ed elabora il segnale esprimendo i risultati ottenuti in decibel. Tuttavia è evidente che non è possibile tradurre in numeri in modo semplice e lineare una sensazione uditiva che comporta fenomeni fisiologici complessi. Per questo il fonometro considera la variabilità della sensibilità dell'orecchio umano in funzione delle diverse frequenze percepite, introducendo nei suoi sistemi di rilevazione specifici **parametri correttivi** che consistono in curve di ponderazione che approssimano le curve di uguale sensazione dell'**audiogramma**, cioè la funzione che descrive il comportamento dell'udito umano nel caso di suoni puri riferiti all'intensità soggettiva. Tale strumento dunque valuta l'ampiezza dei suoni e fornisce conseguentemente dati obiettivi e riproducibili. Esistono diversi tipi di fonometro, anche se ciascuno strumento può generalmente essere ricondotto a un unico schema costruttivo comprendente un **microfono**, un'**unità di trattamento dei dati raccolti** e un'**unità di lettura dei risultati elaborati**. I fonometri inoltre sono suddivisi in **classi** in funzione della loro precisione: la **classe 0** identifica quelli caratterizzati da prestazioni di grandissima accuratezza, mentre la **classe 3** individua gli strumenti che forniscono dati meno precisi. La quasi totalità degli apparecchi tuttavia appartiene alle sole **classi 1 e 2**, utilizzati rispettivamente per le misure di laboratorio e di precisione sul campo e per quelle generali sul campo.



2 Il concetto di tollerabilità

Per stabilire i **valori massimi tollerabili** del livello sonoro sono stati definiti parametri di valutazione relativi e assoluti. Tali parametri riguardano sia le **emissioni sonore**, intese come il massimo rumore che può essere emesso da una sorgente sonora e misurato in prossimità della sorgente stessa, sia le **immisioni sonore**, descritte come il rumore immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno e misurato in prossimità dei ricettori.

Valori limite di emissione		
Classe di appartenenza	Periodo Diurno (6:00-22:00)	Periodo Notturno (22:00-6:00)
1) Rumore di fondo (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
2) Rumore di traffico (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
3) Rumore di attività ricreative (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
4) Rumore di attività commerciali (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
5) Rumore di attività industriali (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
6) Rumore di attività artigianali (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)

I valori limite d'immissione possono essere considerati sia in **senso assoluto** che in **termini differenziali**. Nel primo caso i valori sono determinati in riferimento al **livello equivalente di rumore ambientale**, inteso come il livello di pressione sonora costante avente lo stesso contenuto energetico del rumore reale prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. Nel secondo caso invece i valori sono determinati con riferimento alla **differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale e il rumore residuo**, inteso come il livello continuo equivalente di pressione sonora rilevato quando si escludono le specifiche sorgenti disturbanti. In questo caso i valori limite differenziali d'immissione sono pari a **5 dB** durante il giorno e a **3 dB** durante la notte all'interno di ambienti abitativi.

Valori limite di immissione (L95)		
Classe di appartenenza	Periodo Diurno (6:00-22:00)	Periodo Notturno (22:00-6:00)
1) Rumore di fondo (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
2) Rumore di traffico (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
3) Rumore di attività ricreative (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
4) Rumore di attività commerciali (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
5) Rumore di attività industriali (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
6) Rumore di attività artigianali (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)

Tra i parametri valutativi rientrano anche i **valori di qualità**, descritti come i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo, con le tecnologie e le

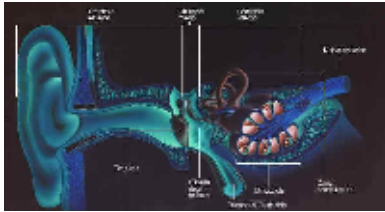
metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi previsti dalla Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico 447/1995.

Valori di qualità		
Classe di appartenenza	Periodo Diurno (6:00-22:00)	Periodo Notturno (22:00-6:00)
1) Rumore di fondo (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
2) Rumore di traffico (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
3) Rumore di attività ricreative (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
4) Rumore di attività commerciali (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
5) Rumore di attività industriali (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)
6) Rumore di attività artigianali (contorno)	55 dB(A)	45 dB(A)

Ma quali sono gli obiettivi di tale legge? In linea con il concetto di ...normale tollerabilità... nei confronti del rumore espresso nell'**art. 844 del Codice Civile**, che fa riferimento alla reattività dell'uomo medio allo stimolo sonoro, il limite di tollerabilità è fissato in un **aumento del livello di pressione sonora di 3dB rispetto al rumore di fondo**, inteso come il più basso livello di rumore riscontrato e che si ripete più volte durante il periodo di misura in assenza della sorgente disturbante. In alternativa può essere impiegato il **livello statistico cumulativo L95**, definito come il livello di pressione sonora che è superato durante il 95% del tempo di osservazione. Tuttavia l'impiego del livello L95 maschera il contributo dovuto al traffico stradale e a eventi rumorosi cosiddetti di picco. Sulla scelta del livello L95 come descrittore del clima acustico nell'ambiente oggetto d'indagine e sull'applicazione di un criterio piuttosto che l'altro è incentrato il dibattito fra i tecnici specializzati del settore.

3 Effetti dell'inquinamento acustico

L'inquinamento acustico influisce in modo rilevante su molti aspetti della vita quotidiana, dal benessere psicofisico delle persone, al lavoro, al valore dei terreni e degli immobili. Schematicamente è possibile individuare **tre macro classi** d'interesse: una relativa all'uomo, un'altra al luogo di lavoro e l'ultima agli ambienti naturali e antropici.



La sovraesposizione al rumore provoca problemi particolarmente gravi alle persone, causando alterazioni fisiologiche che variano in funzione delle caratteristiche fisiche del rumore e della risposta dei soggetti esposti. Gli effetti riscontrati sono riportati in una scala che li suddivide in **trauma acustico**, **danno**, **disturbo**, **fastidio** o **annoyance**. Il **trauma acustico** comporta la perdita di udito in seguito a elevatissime pressioni acustiche prodotte da fenomeni esplosivi che provocano la rottura della membrana timpanica o il danneggiamento della catena degli ossicini. Il **danno** è rappresentato da ogni alterazione anche parzialmente non reversibile dell'apparato uditivo: simile al trauma, anch'esso comporta una lesione all'orecchio, ma consegue da un'esposizione quotidiana a livelli di rumore superiori a 80 dB per tempi prolungati (da 10 a 30 anni). Tale lesione è quasi inavvertibile all'inizio della sua manifestazione ma, se si continua a restare esposti alla fonte di rumore, si aggrava e provoca difficoltà nella comprensione di una normale conversazione. In questo caso non si parla di sordità, ma di **handicap uditivo**. **Disturbo** e **annoyance** sono invece due patologie che influiscono sulla salute psichica prima che fisica del soggetto colpito. Il disturbo è un'alterazione reversibile delle condizioni psicofisiche delle persone che ne sono interessate, mentre l'annoyance è un effetto di fastidio che nasce dalla combinazione di fattori di natura fisica, psichica e sociale e che modifica la capacità dell'individuo di relazionarsi con l'ambiente, trasformandosi in una grave causa di stress. L'inquinamento acustico non ha tuttavia effetto solo sull'apparato uditivo, ma anche sul sistema cardiovascolare, sul sistema nervoso centrale, sull'apparato respiratorio, sull'apparato digerente e su quello riproduttivo, causando problemi che non sono identificabili tramite un'indagine audiometrica, ma che rivestono un ruolo di grande importanza a livello di benessere sociale. L'**ipoacusia da rumore**,

cioè la ridotta capacità uditiva provocata da eventi rumorosi, è la principale malattia professionale registrata negli ultimi anni in Italia. Per questo a partire dal 1991, con l'entrata in vigore del **D. Lgs. 277/91**, sono stati introdotti dei valori limite di esposizione al rumore, al superamento dei quali il datore di lavoro era obbligato a adottare una serie di provvedimenti che tutelassero la salute dei dipendenti. Tale normativa è stata in seguito dettagliata dal **D. Lgs. 195 del 2006**, che ha definito i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione al rumore durante il lavoro. I limiti di tollerabilità, con i rischi derivanti e le conseguenti precauzioni da adottare, sono stati fissati tra **80 dB e 90 dB**. Studi recenti hanno inoltre dimostrato che l'inquinamento acustico sul luogo di lavoro oltre a provocare danni diretti di origine fisiologica è causa anche di danni indiretti di natura diversa. Un ambiente molto rumoroso impedisce infatti una buona comunicazione (intesa come una conversazione percepita dall'orecchio a un livello di almeno 10 dB superiore a quello del rumore circostante), è molto spesso motivo di infortuni (in quanto rende difficile sentire le direttive di lavoro e i segnali di allarme) e causa distrazione. Inoltre l'inquinamento acustico può avere gravi effetti sulle lavoratrici gestanti, che in caso di prolungata esposizione a rumori intensi rischiano un aumento della pressione arteriosa e un conseguente senso di spossatezza. Prove sperimentali suggeriscono che l'esposizione continuativa del feto a eventi rumorosi di grave entità durante la gravidanza può avere effetti negativi sull'udito del nascituro, in particolar modo nel caso di inquinamento da basse frequenze.



Il rumore infine riveste un ruolo di particolare importanza per quanto concerne il valore delle zone antropiche e naturali. Infatti i parametri di valutazione relativi e assoluti che stabiliscono gli indici massimi tollerabili di livello sonoro identi-

ficano diverse **aree ambientali**, caratterizzate da differenti destinazioni d'uso del territorio. Tipicamente le aree a maggiore densità abitativa sono caratterizzate da più basse soglie di tolleranza, mentre quelle prevalentemente industriali presentano indici più elastici. Generalmente poi il livello massimo tollerabile è più basso nelle ore notturne rispetto a quelle diurne. Questa suddivisione, indicata con il nome di **zonizzazione ambientale**, permette di attribuire un valore agli immobili presenti sul territorio e al territorio stesso in base all'entità di inquinamento acustico rilevata, e rende detto valore maggiore o minore in relazione al rispetto degli indici in base ai quali è stato stimato.

4 Le fonti del rumore

L'inquinamento acustico è prodotto da innumerevoli rumori i quali, a loro volta, hanno origine da alcune ben definite fonti. Ai giorni nostri le principali sorgenti di rumore possono essere identificate nel **traffico stradale**, nelle **ferrovie**, nel **traffico aereo**, nell'**industria**, nei **cantieri**, nella **vita domestica** e nelle **basse frequenze**. **Traffico stradale** È identificato come la principale causa di rumore nei paesi industrializzati. Uno studio dell'Unione Europea ha evidenziato che su circa 200 milioni di cittadini comunitari circa il 60% è stato esposto a emissioni sonore prodotte da traffico stradale superiori a 55 dB, mentre il 39% ha dovuto sopportare livelli acustici pari a 60 dB. Questi dati hanno spinto a stabilire dei limiti di emissione di rumore per tutti i nuovi veicoli immessi in circolazione e poiché tali limiti sono stati abbassati di anno in anno le auto di più recente produzione presentano indici di rumorosità di 8 ... 10 dB inferiori rispetto a quelli di vetture immatricolate poco più di dieci anni fa. **Ferrovie** Il treno è sempre stato considerato un mezzo di trasporto ecologico, ma studi recenti hanno dimostrato che l'impatto ambientale dei trasporti ferrati ha un alto valore in termini di inquinamento e di costi. La rumorosità ha sempre rappresentato un problema oggettivo e anche se treni e motrici di ultima generazione risultano molto più silenziosi dei convogli tradizionali l'at-

tuale normativa prevede che le ferrovie debbano seguire percorsi lontani dai centri abitati ed essere attrezzate con adeguati sistemi di abbattimento dei rumori, come per esempio le barriere fonoisolanti in prossimità delle zone residenziali.



Traffico aereo La principale causa di rumore nel caso degli aerei è il motore, tanto per i velivoli a reazione che per quelli con propulsione a elica. Per questa ragione, in considerazione anche del rilevante aumento del traffico aereo successivo alla Seconda Guerra Mondiale, le autorità competenti hanno varato normative per la limitazione e il controllo delle emissioni sonore dei velivoli. I produttori del settore hanno recepito la necessità e si sono attrezzati di conseguenza, al punto che i nuovi aerei, pur avendo spesso una stazza e una capienza molto maggiore rispetto a quella dei loro predecessori, presentano una rumorosità anche di 20 dB inferiore agli aviogetti progettati dopo la metà del secolo scorso. **Industria** Il rumore prodotto dagli insediamenti industriali in passato riguardava solo le zone dove sorgevano grandi impianti metallurgici o manifatturieri, oggi invece la frammentazione della produzione ha portato l'inconveniente della rumorosità anche nel cuore dei centri a elevata densità di popolazione. Il rumore è prodotto principalmente dai macchinari, che per ragioni economiche e di logica di mercato non si fermano neppure di notte, e dalle ventole degli impianti di riscaldamento e condizionamento dell'aria, spesso collocate in posizioni non adeguate. **Cantieri** Sono causa di una rumorosità inaspettata e contingente e, proprio per questo, più difficilmente sopportati dai residenti delle zone interessate. All'interno dei cantieri è prodotta un'infinità di rumori: continui e ininterrotti nel caso di compressori, centrifughe e ventole, intermittenti nel caso di martelli pneumatici e seghe elettriche. Paradossalmente, tut-

tavia, proprio a causa della natura temporanea e provvisoria del cantiere, la normativa è più ...morbida... e il livello di tolleranza ammesso è generalmente superiore a quello consentito di norma per altri tipi di attività. **Vita domestica** In questa categoria rientrano le cosiddette attività ricreative, rappresentate da tutte quelle infrastrutture caratterizzate da elevata rumorosità come discoteche, aree attrezzate per concerti o manifestazioni di vario tipo, piste per corse di moto o auto. La loro proliferazione nel corso degli anni, incentivata da amministrazioni locali spesso poco attente o compiacenti, ha determinato una recrudescenza del problema dell'inquinamento acustico. Anche l'attività domestica vera e propria, tuttavia, è causa di un'insospettabile considerevole quantità di rumore: l'uso improprio degli elettrodomestici (televisore e stereo ad alto volume, lavatrici e lavastoviglie lasciate accese di notte, trapano e tosaerba azionati in orari non consentiti) incide in modo rilevante sulla quantità di rumore prodotto da un insediamento abitativo. In questo caso però più che un'adeguata applicazione della normativa può l'educazione e il buonsenso dei singoli.



Emissioni a bassa frequenza È un fenomeno che incide su una piccola fetta di popolazione, ma che può essere particolarmente molesto per chi ne è interessato. Le emissioni a bassa frequenza sono spesso generate da fenomeni di risonanza e generano una sensazione di fastidio continuativa e cronica che può avere effetti nega-

tivi non solo a livello fisiologico, ma anche emotivo. Le principali fonti sono caldaie, bruciatori e ventole, caratterizzate da emissioni sonore prolungate, monocorde e appena percettibili.

5 Mezzi di difesa e protezione dall'inquinamento acustico

La lotta contro il rumore e l'inquinamento acustico si combatte su più fronti. Se da un lato infatti la normativa vigente ha varato un piano di interventi volto a contenere o abbassare le emissioni sonore all'origine (si pensi in questo caso ai provvedimenti presi per la riduzione del rumore prodotto da auto, treni e aerei), dall'altro l'adozione di particolari accorgimenti a livello di gestione ambientale e progettazione consente di difendersi da eventi sonori disturbanti occasionali o reiterati nel tempo. In quest'ultimo caso ci sono due modi distinti di gestire e controllare il rumore: impedendo la sua propagazione da un ambiente a un altro oppure mettendo in condizione l'ambiente di ...annullare... l'emissione sonora disturbante. Il primo sistema prende il nome di **fonoisolamento** e comprende i materiali, i mezzi e le operazioni che determinano la capacità di un manufatto di impedire il passaggio di suoni dal suo interno all'esterno e viceversa. Il secondo invece riguarda i materiali, i mezzi e le operazioni che permettono a un manufatto di annullare l'emissione rumorosa all'atto della propagazione dal suo interno all'esterno e viceversa. Tale sistema prende il nome di **fonoassorbimento**. Il **fonoisolamento** è utilizzato soprattutto nella realizzazione di **edifici a uso civile e industriale**. In questo caso i muri perimetrali, la pavimentazione, il soffitto, i tetti e gli infissi sono costruiti utilizzando blocchi, pannelli e feltri di materiali come lana di vetro, fibre minerali e sintetiche, legno e sughero cementati con particolari miscele, malte e intonaci studiati per impedire la propagazione del rumore di natura aerea o da impatto. Il fonoisolamento ha molteplici valenze: applicato a fabbriche e manifatture evita che il rumore della produzione si trasmetta oltre il perimetro dell'edificio, mentre impiegato nella costruzione di abitazioni civili rende le case protette dalle

emissioni sonore provenienti dall'esterno e, nello stesso tempo, impedisce che i rumori domestici si propaghino lungo le strutture e si trasmettano alle residenze vicine o a eventuali alloggi adiacenti.



Il **fonoassorbimento**, oltre ai sopra citati impieghi in ambito civile e industriale, trova grande applicazione nella realizzazione delle cosiddette **barriere antirumore** che separano strade, autostrade e ferrovie dai centri abitati. Tali barriere, progettate per resistere all'azione degli agenti atmosferici, sono realizzate in alluminio, legno, calcestruzzo alleggerito e terra. Allo stesso principio rispondono anche gli **asfalti** detti appunto **fonoassorbenti** e che sono impiegati nei centri urbani per ridurre le emissioni acustiche prodotte dal traffico.



6 Il caso particolare dell'inquinamento acustico marino



L'inquinamento acustico è arrivato anche in fondo al mare: i mammiferi marini, abituati a comunicare tra loro attraverso segnali impulsivi chiamati **clicks**, emessi a frequenze variabili da 500 Hz a 30 kHz, sono gravemente disturbati dal frastuono prodotto dalle diverse attività antropiche che interessano il loro habitat. La comunicazione acustica per questi animali è di vitale importanza, perché permette la trasmissione di informazioni relative a questioni legate alla nutrizione, all'accoppiamento e alla segnalazione di potenziali pericoli, ma sonar, prospezioni sismiche fatte con speciali apparecchiature chiamate **airguns**, migliaia di imbarcazioni in navigazione e il traffico diportistico distorcono la percezione dei suoni e causano spiaggiamenti o lesioni dell'apparato uditivo, quando non addirittura la sordità. Il potenziale di comunicazione per molti segnali delle balene è di centinaia di chilometri, perché l'acqua non attenua le emissioni acustiche e permette la loro propagazione a una velocità 1500 metri al secondo (quasi cinque volte maggiore che in aria), ma il rumore antropico di fondo riduce di molto questo raggio di azione. Per tale ragione è necessario raccogliere nuove e maggiori informazioni sul comportamento dei mammiferi marini, per realizzare una coesistenza tra le esigenze apparentemente conflittuali espresse dall'uomo e dagli animali. In questa direzione si muove la **bioacustica**, una scienza che nasce dal connubio tra fisica e biologia e che ha come oggetto di studio il modo in cui gli animali attraverso la comunicazione sonora regolano i loro comportamenti e la propria distribuzione (e di conseguenza le aree da cui l'uomo dovrebbe stare alla larga), e le dosi...tollerabili... di rumore. I mezzi attualmente a disposizione di questa nuova disciplina sono il monitoraggio e il cosiddetto **tracking acustico**, cioè un sistema di tracciamento sonoro dei messaggi emessi dagli esemplari oggetto di studio, mentre l'intero progetto è sotto la supervisione del *Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali (CIBRA) dell'Università di Pavia*.