

CRITERI PROGETTUALI AI FINI DEL CONTENIMENTO DEL RUMORE ALL'INTERNO DI FRANTOI OLEARI¹

Panaro V., Pascuzzi S., Santoro F.

*1. Università degli Studi di Bari-Dipartimento Pro.Ge.SA. sez. meccanica – Via G. Amendola, 165-70126-Bari
– Tel.: 0805443095-Fax: 0805443080-e.mail: vittorio.panaro@agr.uniba.it*

Riassunto

Il presente studio si propone di individuare alcune indicazioni progettuali di massima relative ai possibili interventi per il contenimento dell'inquinamento acustico, che si dovesse manifestare durante il ciclo di estrazione olearia all'interno dei frantoi.

La prima fase dello studio è consistita nell'analisi di un frantoio oleario tipico della realtà produttiva della Puglia settentrionale, in cui sono presenti linee produttive che vanno dalle più tradizionali a quelle di più recente concezione. Il suddetto opificio è stato analizzato sia dal un punto di vista della composizione strutturale che del layout impiantistico. Successivamente, durante la campagna olearia, si sono effettuati ripetuti rilievi dei livelli di emissione sonora prodotti dalle singole macchine appartenenti al ciclo produttivo.

Si sono approfonditi, quindi, i possibili interventi per il contenimento dell'inquinamento acustico all'interno dei frantoi, analizzandone gli aspetti progettuali; tali interventi possono riguardare: la modifica del lay-out del ciclo di produzione con la sostituzione delle macchine più rumorose con altre tecnologicamente più avanzate, la riduzione delle emissioni acustiche direttamente alle sorgenti o mediante l'inserimento di barriere che ostacolano la propagazione del rumore, la modifica dell'acustica dell'ambiente di lavoro, una opportuna ed efficace organizzazione del lavoro, la protezione acustica individuale.

Per quanto riguarda il frantoio in osservazione occorre rilevare che le dimensioni del locale in cui avviene il ciclo estrattivo dell'olio non sono del tutto adeguate al numero delle macchine presenti; questo comporta per un verso difficoltà per il transito dei diversi addetti e, per altro verso, una fastidiosa rumorosità che ha ricadute sulla sicurezza degli stessi operatori. Gli spazi ristretti scoraggiano gli incapsulamenti delle macchine più rumorose in quanto ci sarebbero ulteriori ingombri; la presenza, inoltre, di riflessioni multiple renderebbe poco efficace l'utilizzo degli schermi acustici (barriere), anche se collocati nelle vicinanze delle macchine in lavorazione. Una sensibile riduzione dei livelli di rumorosità potrebbe ottenersi aumentando la superficie del locale in questione, eliminando il tramezzo che lo separa dall'adiacente olivatoio.

In base ai livelli acustici rilevati durante le misurazioni, in relazione ai limiti imposti dalla vigente normativa, è consigliabile l'utilizzo degli inserti auricolari da parte degli addetti.

Parole chiave: inquinamento acustico, bonifica acustica, sicurezza

Summary

The present research aims to identify some basic design indications concerning the possible interventions for the reduction of the acoustic pollution which may present during

¹ Lavoro svolto con fondi MIUR PRIN 2003, progetto: "Qualità del lavoro e sicurezza negli ambienti agroindustriali: individuazione dei principali fattori di rischio e definizione di opportune linee guida", coordinatore nazionale Prof. Giorgio Zoppello. Gli autori hanno contribuito in pari misura al lavoro.

the cycle of olive oil extraction inside the olive mills.

The study's first phase consisted in the analysis of a typical olive mill of the northern productive reality of Apulia region, in which can be found productive lines diversified from the most traditional to those of more recent conception. The above-mentioned productive plant was analysed both from a point of view of the structural composition and from a point of view of the production line layout. After this first phase, during the olive oil production activity, was carried out a several measurement of the noise emission produced by the single machineries belonging at the productive cycle.

The possible interventions for the reduction of the acoustic pollution inside olive mills were, therefore, in detail examined, analysing the design aspects; such interventions can deal with: the modification of the lay-out of the production cycle with the replacement of the noisiest machineries with others more technologically advanced, the reduction of the acoustic emissions directly to the sources or by the insertion of barriers which obstruct the propagation of the noise, the modification of the work environment acoustics, an opportune and effective organization of the work, the individual acoustic protection.

As regards the observed olive mill it's useful to notice that the dimensions of the room in which the extraction cycle takes place are not really right in relation to the number of machineries that are present; this involves both a difficulty in the movements of the workers and a troublesome noisiness which involves the workers safety. The narrow spaces discourage the encapsulations of the noisiest machineries as there would be further difficulties in movements; the presence, furthermore, of multiple reflections would make not very effective the use of the acoustic screens (barriers), even if placed in the vicinity of the machineries. A sensitive reduction of the noisiness levels could obtain by increasing the room surface, removing the wall that actually divides it from the adjacent olive storage room.

On the basis of the acoustic levels obtained during the measurements, in relation to the limits imposed by the current rules, is advisable the use of the auricular inserts by the workers.

Key words: acoustic pollution, noise reduction, safety

1. INTRODUZIONE

Come è noto, tutte le normative vigenti, sia a livello comunitario che nazionale, ammettono un certo rischio di esposizione dei lavoratori al rumore, che ottempera da un lato le esigenze di protezione della salute degli stessi operatori e, dall'altro, le richieste della produzione. A questo riguardo va ricordato che livelli equivalenti di pressione sonora dell'ordine dei 70 dB(A) non producono rischi per le facoltà uditive, ma sono inaccettabili per molti ambienti di lavoro, in quanto, comunque, creano uno stato di disagio.

Ai fini di una effettiva protezione dei lavoratori occorre, pertanto, determinare i limiti oltre i quali il rischio da rumore è da ritenersi non accettabile; la normativa italiana prevede, in proposito, una serie di adempimenti a seconda che la "esposizione quotidiana personale" al rumore ($L_{EP,d}$) sia rispettivamente maggiore di 80 dB(A), di 85 dB(A) e di 90 dB(A) e/o che il livello di picco dell'emissione acustica sia superiore a 140 dB (D.L.277/1991). Infatti, per le attività che comportano valori di $L_{EP,d} > 80$ dB(A), il suddetto D.L. 277 prevede che il datore di lavoro informi e formi il personale sui i rischi connessi all'esposizione a rumore; per le attività, invece, che implicano valori di $L_{EP,d} > 85$ dB(A) obbliga il datore di lavoro, oltre agli adempimenti su citati, a dotare gli operatori di dispositivi individuali di protezione dell'udito. Ulteriori e più severi oneri sono previsti allorquando $L_{peak} > 140$ dB o $L_{EP,d} > 90$ dB(A).

La metodolgia di prevenzione dai rischi legati al rumore negli impianti agro-alimentari

non può essere definita in maniera univoca per le diverse tipologie agro-industriali; occorre, invece, uno studio specifico per ciascuna realtà lavorativa (Magrini, 2003).

Va altresì detto che è possibile individuare una serie di interventi tecnici comuni che possono in maggiore o minore misura concorrere all'attenuazione dell'inquinamento acustico (Biondi *et al.*, 1996; 1994; Panaro *et al.*, 1982).

Il presente studio, pertanto, si propone di individuare alcune indicazioni progettuali di massima relative ai possibili interventi per il contenimento dell'inquinamento acustico, che si dovesse manifestare durante il ciclo di estrazione olearia all'interno dei frantoi.

La prima fase dello studio è consistita nell'analisi di un frantoio oleario tipico della realtà produttiva della Puglia settentrionale, in cui sono presenti linee produttive dalle più tradizionali a quelle di più recente concezione. Il suddetto opificio è stato analizzato sia dal punto di vista della composizione strutturale che del layout impiantistico. Successivamente, durante la campagna olearia, si sono effettuati numerosi rilievi dei livelli di emissione sonora prodotti dalle singole macchine appartenenti al ciclo produttivo.

I dati così ottenuti e le relative elaborazioni sono stati quindi utilizzati per studiare e/o approfondire gli interventi atti a migliorare le condizioni di lavoro per gli addetti.

L'organizzazione e lo sviluppo del presente lavoro può rappresentare una base di riferimento per l'analisi delle problematiche inerenti al contenimento dell'inquinamento acustico all'interno dei frantoi oleari pugliesi.

Tale ricerca viene a completamento di altre, precedentemente svolte e finanziate dal MIUR, finalizzate ad approfondire, nell'ambito della filiera olivicola pugliese, i rischi con le relative misure di prevenzione e l'analisi dell'inquinamento acustico (Panaro V. *et al.*, 2002; Panaro V. *et al.*, 2004).

2. MATERIALI E METODI

2.1. IL FRANTOIO IN OSSERVAZIONE

Il frantoio oleario preso in considerazione, ubicato in agro di Troia (FG), presenta un lay out cosiddetto "misto" o "combinato", tipico di molte realtà produttive della Puglia settentrionale, in quanto si integrano linee produttive differenti, dalla tradizionale (ciclo discontinuo) alla più moderna (ciclo continuo), con le macine di granito al posto del frangitore meccanico e le gramole con il decanter invece dei fiscoli (Fig. 1).

Il ciclo produttivo in esame prevede che la pasta in uscita dalle molazze passi dapprima in una piccola gramola, situata al di sotto delle stesse molazze, quindi, in un frangitore rifinitore di dimensioni ridotte e, successivamente, nella gramolatrice vera e propria. Da qui la pasta viene trasferita in un decanter a numero di giri variabile della coclea e, infine, nei separatori centrifughi ad asse verticale. L'impianto prevede anche l'estrazione dell'olio da olive denocciolate; in tal caso le drupe in uscita dal denocciolatore vengono inviate direttamente alla gramolatrice e, successivamente, al decanter, che, in questa circostanza, viene utilizzato con una velocità più ridotta della coclea interna al tamburo.

Per quanto attiene alle particolarità strutturali degli ambienti, si rileva che la defogliatrice con relativa tramoggia è situata nel locale olivatoio-1 avente pavimentazione in conglomerato cementizio, muri in tufo alti 4 m e copertura in lamiera zincata (Fig. 1). Il suddetto olivatoio è separato mediante un tramezzo dal locale in cui avviene il ciclo produttivo di estrazione dell'olio dalle olive (Fig. 1). Tale locale ha le seguenti caratteristiche: altezza 4 m; pavimento rivestito con materiale anti sdruciuolo; muri in tufo intonacati e rivestiti fino ad un'altezza da terra di 1,5 m con piastrelle; solaio in travetti di c.a. precompresso con

pignatte e copertura in conglomerato cementizio. Il denocciolatore (Fig. 1-N) è stato collocato in un piccolo ambiente esterno realizzato da muri in tufo e copertura in acciaio zincato.

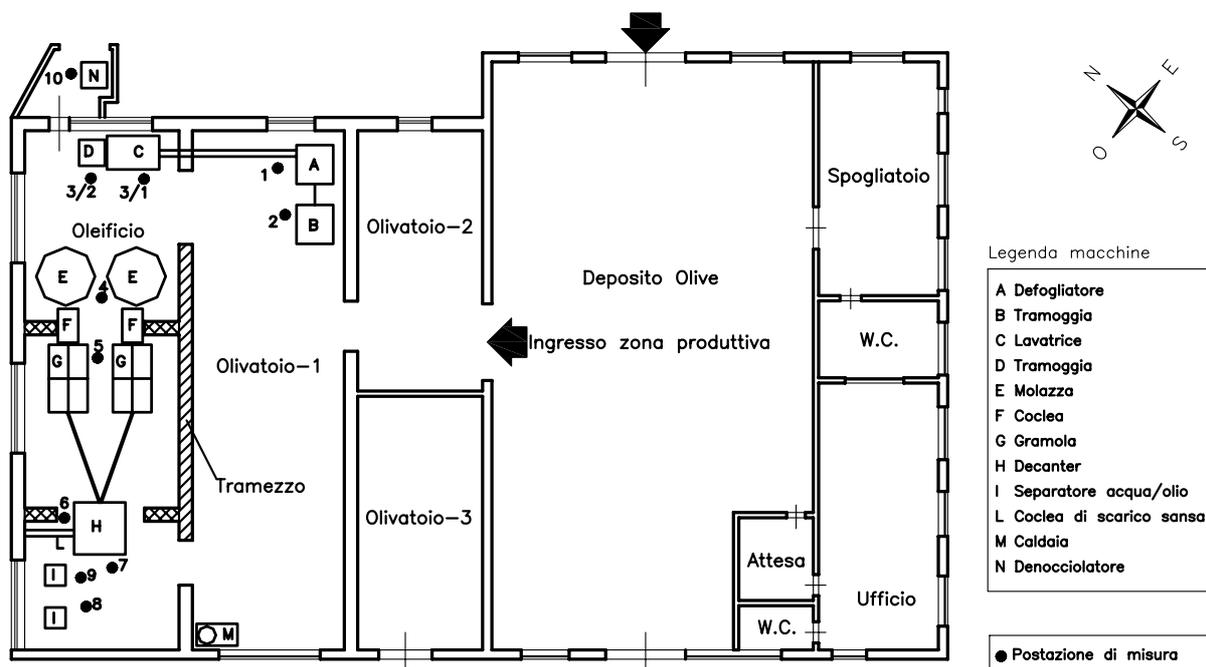


Fig. 1. Planimetria frantoio con indicazione dei punti di posizionamento degli strumenti di misura.

Per quanto attiene, invece, alle tipologie di ancoraggio delle macchine al pavimento si è constatato che: a) il denocciolatore è imbullonato su quattro punti al pavimento con interposizione di supporti elastici; b) ciascuna delle due molazze (Fig. 1-E) è dotata di quattro appoggi imbullonati a pilastri in conglomerato cementizio, che sopraelevano le due macchine rispetto al pavimento; c) le gramole sono imbullonate direttamente sul pavimento; d) il decanter (Fig. 1-H) è sorretto da un telaio in acciaio imbullonato a pavimento con l'interposizione di supporti elastici; e) i separatori (Fig. 1-I) sono ancorati al pavimento con interposizione di supporti elastici.

Dal punto di vista organizzativo, la conduzione dell'opificio è a carattere prevalentemente familiare con assunzione di operai stagionali e, durante le campagne olearie, il frantoio funziona continuamente nell'arco delle 24 ore; in tali condizioni, i diversi addetti seguono la produzione eseguendo turni di 8 ore ciascuno.

2.2. ATTREZZATURA PER LA MISURA DEL RUMORE

Le indagini fonometriche sono state eseguite in un periodo di pieno svolgimento della campagna olearia; ciò al fine di conferire ai dati riscontrati caratteristiche di tipicità del frantoio in attività.

I rilievi sono stati effettuati utilizzando un fonometro di precisione marca 01dB-Stell modello SYMPHONIE, matricola 01078 conforme a quanto previsto dal D.Lvo 277/91, ovvero: classe 1, secondo le norme UNI EN 60651/1994 e UNI EN 60804/1994, classe 0, conforme alla norma UNI EN 61260 per i filtri di bande in ottave e terzi di ottava, con scala di ponderazione A e risposta lenta (*slow*).

La calibrazione degli strumenti è stata eseguita prima e dopo ogni ciclo di misure.

I rilievi sono stati effettuati ad 1.50 m dal pavimento e a circa 1.00 m dalle diverse macchine, come indicato in Fig. 1.

Il livello del rumore all'interno del frantoio è stato assunto di tipo stazionario, avendo riscontrato che le misurazioni effettuate con costante *slow* oscillavano in un range di larghezza inferiore a 6 dB. Si è assunto un tempo di campionamento di 10 minuti, sufficiente ad ottenere una valutazione significativa delle caratteristiche dei fenomeni esaminati.

Il livello equivalente ($L_{Aeq,Te}$) rilevato in ciascun punto di posizionamento dello strumento di misura è stato ponderato in scala A secondo la seguente relazione:

$$L_{Aeq,Te} = 10 \cdot \log \left\{ \frac{1}{T_e} \cdot \int_0^{T_e} \left[\frac{p_A(t)}{p_0} \right]^2 \cdot dt \right\} \text{ dB(A)} \quad (1)$$

con:

T_e : tempo di esposizione al rumore (o tempo di campionamento) (s);

p_A : pressione acustica istantanea ponderata A (Pa);

p_0 : pressione acustica di riferimento (20 μ Pa).

In corrispondenza dei suddetti punti di posizionamento sono stati rilevati anche i valori di picco della emissione sonora (L_{peak}).

L'esposizione quotidiana personale al rumore ($L_{EP,d}$) è stata calcolata, invece, con la formula seguente:

$$L_{EP,d} = \left[L_{Aeq,Te} + 10 \log \frac{T_e}{T_0} \right] \text{ dB(A)} \quad (2)$$

ove, oltre ai simboli già noti:

$T_0 = 8 \text{ h}$.

Per il frantoio in osservazione i tempi di esposizione al rumore da parte degli addetti sono risultati estremamente variabili, in quanto ciascuno svolgeva, nell'arco del proprio turno lavorativo, differenti mansioni e, quindi, era sottoposto a differenti esposizioni.

Detto ciò, per poter effettuare un calcolo attendibile dell'esposizione quotidiana personale ($L_{EP,d}$), si è assunto un tempo medio di effettiva esposizione da parte di ciascun operatore di 6 ore per turno lavorativo.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. ANALISI DELLE EMISSIONI

Il grafico di Fig. 2 riporta i valori di $L_{Aeq,Te}$ e L_{peak} riscontrati in corrispondenza delle posizioni di rilevamento; come previsto dalla citata normativa i valori di picco della emissione sonora (L_{peak}) non sono ponderati in scala A.

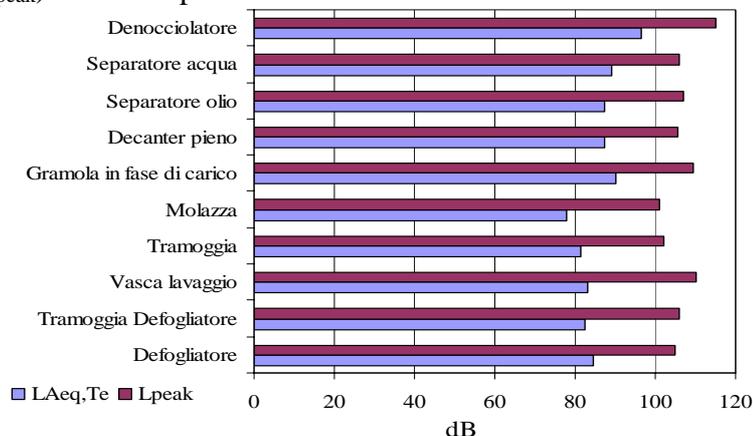


Fig. 2. Risultati $L_{Aeq,Te}$ e L_{peak} dei rilievi di rumorosità effettuati nel frantoio in osservazione.

Da tale grafico emerge che in nessun punto di posizionamento degli strumenti di misura si è riscontrato un livello di picco dell'emissione sonora superiore al limite previsto di 140 dB; nonostante ciò, le macchine più rumorose sono risultate: il denocciolatore, la gramolatrice i separatori e il decanter.

Va altresì detto, in proposito, che il denocciolatore è stato collocato, come risulta dalla Fig. 1, in un ambiente separato e isolato da quello in cui avviene il ciclo produttivo. L'elevata rumorosità rilevata in corrispondenza delle gramolatrici, inoltre, non è da attribuire al funzionamento di queste macchine, bensì a quello dei due frangitori rifinitori, che sono montati al di sopra delle citate gramolatrici.

Il grafico di Fig. 3 riporta i valori di $L_{EP,d}$ calcolati in corrispondenza delle posizioni di rilevamento.

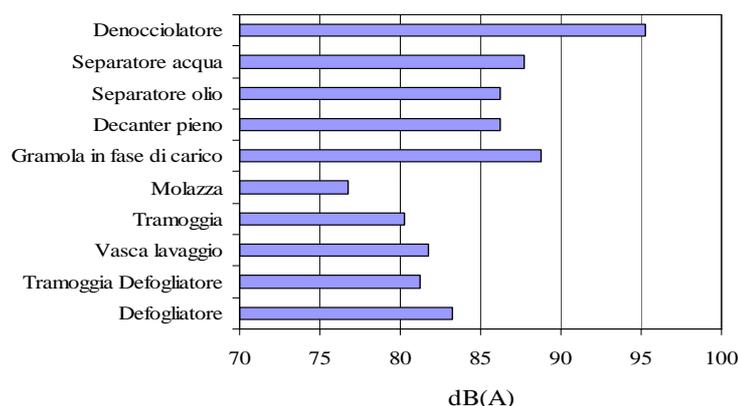


Fig. 3. Valori dell'esposizione quotidiana personale al rumore determinati in corrispondenza delle stazioni di rilievo.

Ad esclusione della postazione relativa al denocciolatore, in nessun punto di rilevamento si è registrato un valore di $L_{EP,d}$ superiore al limite di 90 dB(A); si sono riscontrate zone, invece, in cui l'entità dell'esposizione quotidiana al rumore è compresa tra 85 dB(A) e 90 dB(A).

Gli operatori che dovessero stazionare continuamente presso il denocciolatore sarebbero sottoposti a un'esposizione quotidiana al rumore $L_{EP,d} > 90$ dB(A); si è ritenuto, però, che questa macchina per il suo funzionamento non richieda una presenza costante da parte degli addetti.

Lo studio dell'impatto acustico ha previsto anche l'analisi dello spettro in frequenza dei livelli equivalenti registrati nelle diverse postazioni di rilievo. A titolo esemplificativo in Fig. 4 si riportano le analisi in frequenza per banda di ottava dei livelli equivalenti di emissione acustica (L_{Aeq}) rilevati presso la gramolatrice, il decanter (in pieno esercizio, a una velocità di 3680 giri/min) e il separatore acqua. Da questi grafici emerge che, nelle postazioni di rilievo corrispondenti alle macchine sopra elencate, le emissività acustiche sono generalmente non superiori agli 80 dB(A) su tutte le bande; alcuni picchi, inoltre, prossimi agli 85 dB(A) o superiori si verificano nell'intorno della frequenza di 160 Hz.

3.2. CRITERI PER IL CONTENIMENTO DEL RUMORE

Partendo dai risultati dei rilievi dei livelli di emissione sonora effettuati nel frantoio in osservazione, sembra opportuno analizzare gli aspetti progettuali dei possibili interventi per il contenimento dell'inquinamento acustico che dovesse manifestarsi all'interno dei frantoi durante il ciclo di estrazione olearia.

I suddetti interventi possono evidentemente essere differenti; di ciascuno di essi è

necessario valutarne la fattibilità in termini tecnici ed economici, tenendo conto che occorre una loro combinazione per giungere ad una soluzione definitiva.

Le tipologie di intervento possono essere così suddivise: a) modifiche del lay-out con o senza sostituzione delle macchine più rumorose; b) riduzione delle emissioni acustiche direttamente alle sorgenti rumorose; c) inserimento di barriere alla propagazione del rumore; d) modifica dell'acustica dell'ambiente di lavoro; e) differente organizzazione lavorativa; f) protezione acustica individuale.

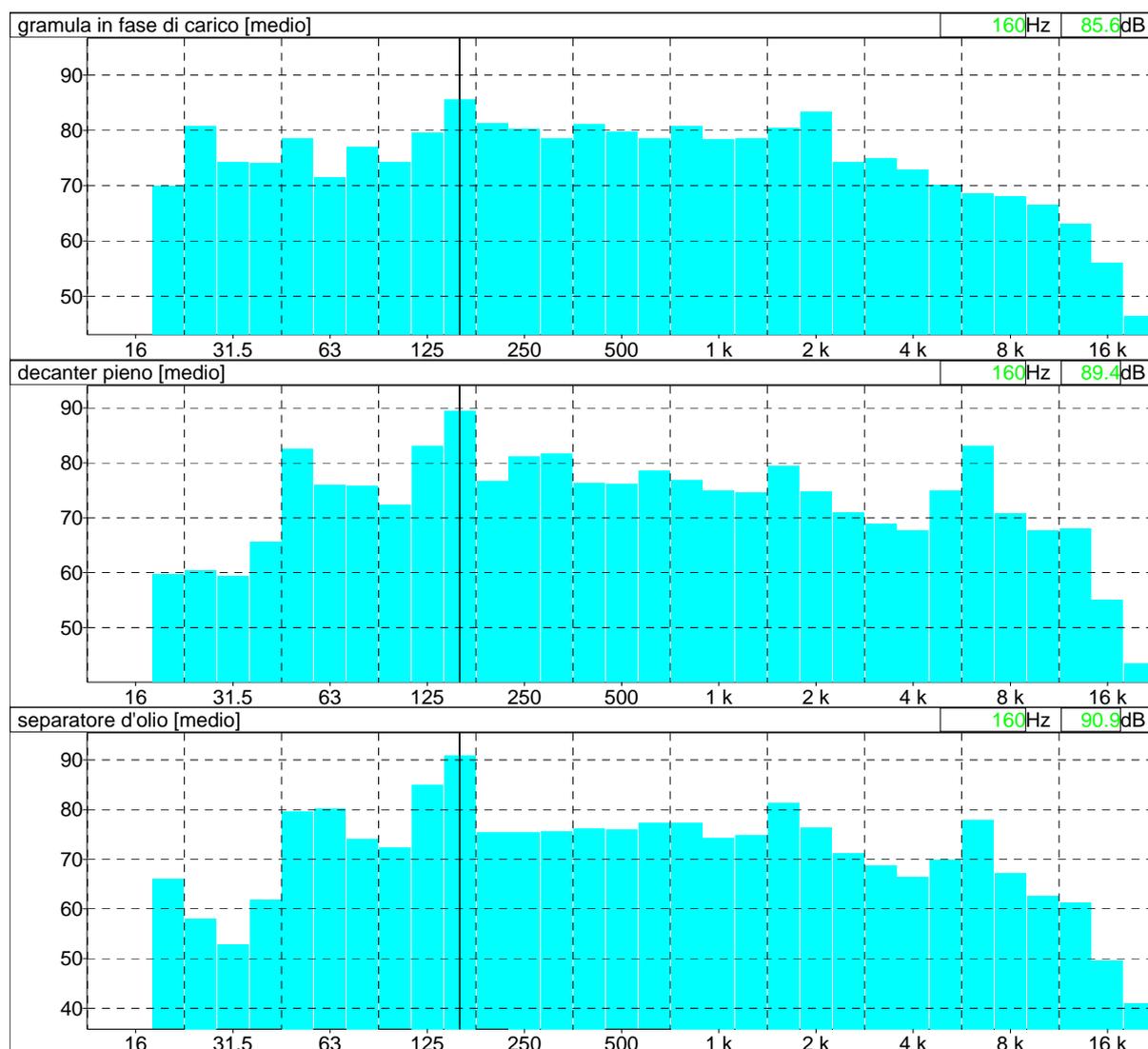


Fig. 4. Analisi in frequenza per banda di ottava dei livelli equivalenti di emissione acustica (L_{Aeq}) rilevati in alcune posizioni di misura.

Gli interventi che comportano la modifica del lay-out delle macchine, o la loro sostituzione con altre più tecnologicamente avanzate e a più basso impatto acustico, sono particolarmente onerosi e non sempre facilmente realizzabili dal punto di vista logistico; una siffatta soluzione probabilmente può essere considerata in occasione di possibili riorganizzazioni aziendali e strutturali.

Per il frantoio in osservazione, il ciclo estrattivo avviene in un unico locale, le cui dimensioni non sono perfettamente adeguate rispetto al numero delle macchine presenti e al

loro ingombro; infatti esiste poco spazio fra una macchina e l'altra e questa condizione, oltre a rendere poco agevole i passaggi degli operatori, concorre a una maggiore rumorosità dell'ambiente per motivi di riflessione acustica. Nel caso di un'ipotetica ristrutturazione è auspicabile, dal punto di vista produttivo e della sicurezza, aumentare la superficie del suddetto locale eliminando il tramezzo, (Fig. 1), che lo separa dall'adiacente olivatoio-1.

La riduzione della rumorosità delle sorgenti si può attuare con interventi mirati, in funzione delle caratteristiche tecniche e geometriche di ciascuna macchina; in proposito, occorre ricordare che, in generale, una corretta manutenzione delle macchine a fine annata contribuisce al contenimento della rumorosità nell'annata successiva.

Nell'ambito di questa tipologia di interventi, inoltre, particolare importanza assume la riduzione delle vibrazioni trasmesse dalle macchine alle strutture di fondazione, che sono causa di rumorosità indotta in ambienti confinati, per emissione secondaria, anche in zone distanti rispetto alla stessa sorgente. Tali vibrazioni possono essere ridotte interponendo tra la macchina e il basamento idonei supporti elastici realizzati in materiale resiliente. I criteri di scelta di questi supporti elastici partono generalmente da una schematizzazione ad un grado di libertà del sistema: massa M [kg] (macchina) supportata su una base rigida mediante un elemento elastico di rigidità k [N/m] e smorzamento viscoso c [Ns/m] (l'insieme dei supporti elastici) (Fig. 5).

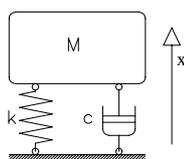


Fig. 5. Schematizzazione ad un grado di libertà del sistema macchina-supporti elastici-basamento.

Come è noto, in assenza di smorzamento, la pulsazione naturale σ_n del sistema suddetto è data da:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{k}{M}} = \sqrt{\frac{g}{\delta_{st}}} \quad [\text{rad/s}] \quad (3)$$

ove, oltre ai simboli già noti si è indicato con δ_{st} la deflessione statica [m] e con g l'accelerazione di gravità [m/s^2]; mentre la *trasmissibilità di forza* ξ , ovvero il rapporto fra l'ampiezza della forza sinusoidale trasmessa dal supporto al basamento e l'ampiezza della forza sinusoidale perturbatrice di pulsazione ω , data da (Jacazio *et al.*,2001):

$$\xi = \sqrt{\frac{1 + \frac{4\zeta^2 \omega^2}{\sigma_n^2}}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\sigma_n^2}\right)^2 + \frac{4\zeta^2 \omega^2}{\sigma_n^2}}} \quad (4)$$

con ζ fattore di smorzamento.

Nota la pulsazione della forza vibratoria da isolare, si stabilisce il valore di trasmissibilità di forza ξ che si intende raggiungere e la tipologia del supporto da impiegare, cui corrisponde un determinato valore di ζ (Tab. 1). Con questi dati, mediante la (4) si determina la pulsazione naturale σ_n del sistema e, quindi, la deflessione statica utilizzando la (3). In base al valore di deflessione statica dianzi calcolato e al carico statico che insiste su ciascun supporto si scelgono i supporti elastici idonei allo scopo, utilizzando i diagrammi *deflessione statica/carico* reperibili nei cataloghi delle Ditte produttrici.

Tab. 1. Fattore di smorzamento per alcune tipologie di supporti elastici

Tipologia supporto	ζ
Molle in acciaio	0,005
Gomma naturale	0,05
Sughero	0,06
Elastomeri speciali	0,10÷0,15
Supporti pneumatici	0,17

E' bene ricordare che i supporti elastici, dimensionati secondo il criterio illustrato, funzionano efficacemente quando il rapporto $\omega/\sigma_n > \sqrt{2}$; in caso contrario la presenza dei suddetti supporti amplifica la sollecitazione vibratoria trasmessa alla struttura.

L'inserimento di barriere per ridurre la propagazione del rumore è uno degli interventi più efficaci per limitare il livello di rumorosità ambientale, nel caso di sistemazioni all'interno di locali, o l'irradiazione di rumore verso zone confinanti, nel caso di installazioni collocate all'esterno di un edificio.

L'intervento di racchiudere la sorgente di rumore con una cuffia o una cabina che assicuri un buon isolamento acustico (incapsulamento), deve essere studiato con accuratezza, in quanto occorre considerare le diverse esigenze operative della macchina, come la eventuale sottrazione di calore che si sviluppa all'interno della suddetta protezione, il carico o lo scarico del materiale in lavorazione dalla macchina, ecc.

Inoltre, la sistemazione di una cabina di contenimento del rumore induce al proprio interno la formazione di un intenso campo sonoro di tipo riverberato, che condiziona l'attenuazione del campo sonoro esterno alla stessa cabina; per questo motivo è necessario porre la massima attenzione sulle caratteristiche fonoassorbenti dei materiali costituenti le pareti interne. Durante il montaggio dei vari componenti, infine, è necessario realizzare la perfetta tenuta delle giunzioni, in modo da evitare vie d'aria accidentali che potrebbero compromettere il risultato finale.

Attualmente non sono disponibili algoritmi che consentano di determinare con sufficiente grado di approssimazione l'attenuazione, del campo sonoro esterno, prodotta dall'interposizione di una cuffia o di una cabina, in funzione delle caratteristiche fonoisolanti dei materiali costituenti; pur tuttavia, è possibile ritenere che l'incapsulamento di una macchina produca una riduzione della rumorosità dell'ordine di 10÷30 dB(A).

L'utilizzo di schermi acustici (barriere) è efficace per ottenere attenuazioni del campo sonoro diretto; l'attenuazione, inoltre, soggetta a fenomeni di diffrazione, risulta notevolmente variabile con la frequenza.

Per il dimensionamento si può fare riferimento alla seguente relazione ricavata per uno schermo rigido semi-infinito nello spazio libero, che determina l'attenuazione acustica (A_H) per differenti campi di frequenza e combinazioni geometriche (Cirillo, 1997):

$$A_{II} = 5 + 20 \text{Log}_{10} \frac{\sqrt{2\pi|N|}}{\tanh \sqrt{2\pi|N|}} \quad (11)$$

con N indice adimensionale di Fresnel, dato da:

$$N = \pm \frac{2}{\lambda} (A + B - d) \quad (12)$$

con:

λ : lunghezza d'onda del suono;

$A+B$: lunghezza percorso più breve, tra sorgente e ricevitore, superando la sommità della barriera (Fig. 6);

d : distanza sorgente S - ricevitore R (Fig. 6). Il segno $+$ vale per un punto di rilevamento posto in zona d'ombra, come in Fig. 6; il segno $-$ si usa quando il punto di rilevamento è situato al di sopra del prolungamento della linea congiungente sorgente - sommità barriera.

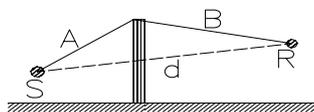


Fig. 6. Percorsi acustici in presenza di barriera (S - sorgente sonora; R - punto di rilevamento).

L'ubicazione migliore per una barriera acustica, generalmente avente massa unitaria almeno di $10 \div 20 \text{ kg/m}^2$, è nelle vicinanze della sorgente da schermare; il trattamento fonoassorbente della parte rivolta verso la sorgente innalza, però, il beneficio di questo intervento.

L'attenuazione del campo sonoro ottenibile con l'inserimento di una barriera è dell'ordine di $5 \div 15 \text{ dB(A)}$.

Per il frantoio in esame, a motivo delle caratteristiche costruttive dell'edificio e del numero delle macchine ivi presenti, non si ritengono opportuni interventi di incapsulamento in quanto creerebbero ingombri che ridurrebbero ulteriormente gli spazi per gli operatori.

La modifica dell'acustica dell'ambiente di lavoro si rende necessaria, come già evidenziato, allorquando sono presenti superfici che producono riflessioni acustiche; queste onde riflesse si sommano all'onda acustica diretta proveniente dalla sorgente generando un incremento di rumore. Seppur parzialmente, le riflessioni sonore possono essere rimosse eseguendo sulle pareti trattamenti fonoassorbenti; occorre dire, però, che tale tipo di intervento non è efficace quando la zona di lavoro che si vuol proteggere è interessata prevalentemente da onde acustiche dirette.

Gli interventi per modificare l'acustica di un ambiente si possono effettuare rivestendo con materiali fonoassorbenti le pareti e soffitti, o utilizzando pannelli fonoassorbenti sospesi al soffitto con ganci ancorati agli elementi delle strutture esistenti ("Baffles"). Le Ditte produttrici di tali materiali forniscono le relative caratteristiche acustiche, utili in sede di progettazione dell'intervento.

Per il frantoio in osservazione, la rumorosità è dovuta alla sovrapposizione sia di campi sonori diretti generati dalle macchine, sia di campi indiretti causati dalle riflessioni multiple sulle pareti; l'interposizione di barriere, quindi, anche se collocate in vicinanza delle sorgenti, non dovrebbe produrre apprezzabili riduzioni dei livelli acustici.

Una diversa organizzazione del lavoro si rende necessaria se non si possono ridurre i

livelli di emissione sonora con interventi tecnici; in tal caso l'alternativa realizzabile è quella di limitare il tempo durante il quale l'operatore è esposto al rumore aumentando il numero di turni di lavoro.

La protezione acustica individuale si attua con dispositivi (inserti auricolari, cuffie, caschi) che riducono il livello del rumore all'orecchio del portatore al di sotto dei limiti normativi. Questi protettori acustici producono un'attenuazione del livello sonoro variabile con la frequenza e le Ditte produttrici forniscono per ciascun modello i valori medi di attenuazione per bande di ottava comprese tra 125 [Hz] e 8 [kHz].

Gli inserti auricolari producono generalmente una buona attenuazione nell'intero intervallo 125÷8000 [Hz]; le cuffie, invece, risultano efficaci solo per frequenze maggiori di 1 [kHz]. Per impieghi particolarmente gravosi si possono utilizzare simultaneamente entrambi i dispositivi.

In sede di scelta del protettore acustico occorre verificare che il livello equivalente di pressione sonora, ottenuto valutando per banda d'ottava i livelli di rumore ponderati in scala "A" e ridotti dei valori di attenuazione realizzati dal protettore auricolare, non superi il valore dell'esposizione quotidiana personale (D.L.226/2001). In formule si ha:

$$L'_A = 10 \text{Log} \sum_{f=125}^{8000} 10^{0.1(L_f + A_f - APV_f)} \text{ dB(A)} \quad (5)$$

con:

f - frequenza centrale della banda d'ottava [Hz];

L_f - livello di pressione acustica per banda d'ottava del rumore [dB];

A_f - ponderazione in frequenza A [dB];

APV_f - livello di protezione presunta del protettore auricolare [dB].

Facendo riferimento al frantoio in esame, per il calcolo della (5) tornano utili i diagrammi riportati in Fig. 4.

Occorre infine ricordare che sono in commercio dispositivi che intervengono in maniera attiva sul rumore (A.N.R. – Active Noise Control & Reduction), sovrapponendo ad esso uno o più suoni correlati fra loro da relazioni di ampiezza e di fase; in pratica l'attenuazione si attua grazie a fenomeni di interferenza delle onde sonore. In proposito, è il caso di citare cuffie antirumore funzionanti con sistema A.N.R., in grado di fornire un'attenuazione media di circa 40 dB omogenea sulla banda di frequenze 125÷8000 [Hz]; tali dispositivi, fra l'altro, possono, anche essere dotati di sistemi di comunicazione che ne permettono l'accoppiamento con qualsiasi tipo di ricetrasmittitore.

4. CONCLUSIONI

Dalle considerazioni esposte emerge in modo evidente che lo studio degli interventi tecnici necessari per attenuare i livelli di rumorosità all'interno di un frantoio oleario risulta alquanto complesso e coinvolge diversi aspetti, sia tecnici che organizzativi; è necessaria, pertanto, un'analisi integrata del problema, in quanto il raggiungimento dell'obiettivo è connesso all'effetto sinergico di più azioni combinate.

Va altresì detto che ogni analisi tecnica del problema non deve essere disgiunta da una puntuale valutazione economica, in quanto la stagionalità del lavoro nei frantoi oleari, e gli stretti margini di guadagno connessi all'elevata concorrenzialità, potrebbero causare l'inattuabilità di provvedimenti che, seppur efficaci, dovessero risultare particolarmente onerosi dal punto di vista finanziario.

Per quanto riguarda il frantoio in osservazione occorre rilevare che le dimensioni del locale in cui avviene il ciclo estrattivo dell'olio non sono del tutto adeguate al numero delle macchine presenti; questo comporta per un verso difficoltà per il transito dei diversi addetti e,

per altro verso, una rumorosità diffusa dovuta a riflessioni multiple lungo le pareti. Nel caso specifico, gli spazi ristretti dovrebbero scoraggiare gli incapsulamenti delle macchine più rumorose in quanto ci sarebbero ulteriori ingombri; la presenza, invece, di riflessioni multiple renderebbe poco efficace l'utilizzo degli schermi acustici (barriere), anche se collocati nelle vicinanze delle macchine in lavorazione.

Una sensibile riduzione dei livelli di rumorosità potrebbe ottenersi aumentando la superficie del locale in questione, eliminando il tramezzo che lo separa dall'adiacente olivatoio.

In base ai livelli acustici rilevati durante le misurazioni, in relazione ai limiti imposti dalla vigente normativa, è consigliabile, infine, l'utilizzo degli inserti auricolari da parte degli operatori.

Bibliografia

- Biondi P., Monarca D., Panaro V., Pasqualone S. B., (1996), *“Indagine sui livelli di rumorosità nei frantoi oleari”*, Ingegneria agraria
- Cirillo E., (1997). *“Acustica Applicata”*, McGraw-Hill.
- Jacazio G., Pastorelli S., (2001) *“Meccanica Applicata alle Macchine”*, Levrotto & Bella.
- Magrini A., (2003), *“Progettare il silenzio”*, EPC LIBRI s.r.l.
- Panaro V., Pasqualone S.B., (1982), *“Inquinamento da rumore nelle industrie di lavorazione e trasformazione dei prodotti agricoli”*, Macchine & motori agricoli.
- Panaro V., Pascuzzi S., Santoro F., (2004), *Analisi delle esposizioni al rumore nella filiera olivicola: rilievi nelle fasi di raccolta meccanica e spremitura delle olive*, Rivista di Ingegneria Agraria, (2), 73:80.
- Panaro V., Pascuzzi S., Santoro F., (2002), *Analisi del rischio e misure di prevenzione nella filiera olivicola pugliese*, Atti del Convegno Nazionale A.I.I.A. «La sicurezza delle macchine agricole e degli impianti agro-industriali», Alghero (SS), 11-15 settembre 2002, 323:334.
- Panaro V., Pascuzzi S., Santoro F., (2002), *Rilievi e risultati di una ricerca biennale sui rumori nella filiera olivicola pugliese*, Atti del Convegno Nazionale A.I.I.A. «La sicurezza delle macchine agricole e degli impianti agro-industriali», Alghero (SS), 11-15 settembre 2002, 391:402.
- Blandini G., Garaffo S., (2002), *La normativa italiana e comunitaria per gli impianti agro-industriali*, Atti del Convegno Nazionale A.I.I.A. «La sicurezza delle macchine agricole e degli impianti agro-industriali», Alghero (SS), 11-15 settembre 2002, 277:283.
- Di Renzo G.C., Altieri G., D'Antonio P., D'Erchia L., (2002), *La sicurezza nell'industria agro alimentare*, Atti del Convegno Nazionale A.I.I.A. «La sicurezza delle macchine agricole e degli impianti agro-industriali», Alghero (SS), 11-15 settembre 2002, 285:301.
- Febo P., Orlando S., (2002), *Valutazione del rischio nella movimentazione manuale dei carichi in alcune industrie enologiche ed olearie siciliane*, Atti del Convegno Nazionale A.I.I.A. «La sicurezza delle macchine agricole e degli impianti agro-industriali», Alghero (SS), 11-15 settembre 2002, 427:437.
- Decreto Legislativo del 15/08/91 n. 277 Suppl. ordinario alla G.U. n.200 del 27/08/1991.
- Decreto Legislativo del 02/05/01 n. 226 Suppl. ordinario alla G.U. n.209 del 08/09/2001.