

**MISURA IN SITU DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO
ACUSTICO MEDIANTE SEGNALE PERIODICO
PSEUDO-RANDOM BINARIO MLS**

A. Farina, M. Garai

Istituto di Fisica Tecnica, Università di Bologna

1. SEQUENZE PSEUDO-RANDOM BINARIE DI LUNGHEZZA MASSIMA

La presente ricerca è basata sull'utilizzo come segnale di prova di una sequenza di valori **interi** m_j con le seguenti caratteristiche [1]:

1) **Pseudo-random**: benché statisticamente simile ad una successione di valori casuali, la sequenza è generata in base a regole deterministiche. Pertanto il segnale inviato sul sistema in prova è **noto a priori** ed occorre rilevare solo la risposta del sistema.

2) **Binaria**: gli m_j possono assumere due soli valori: 0 o 1, che vengono usualmente ridefiniti come ± 1 per facilitare il trattamento elettronico del segnale. Pertanto il segnale è indipendente da molte distorsioni introdotte dall'altoparlante.

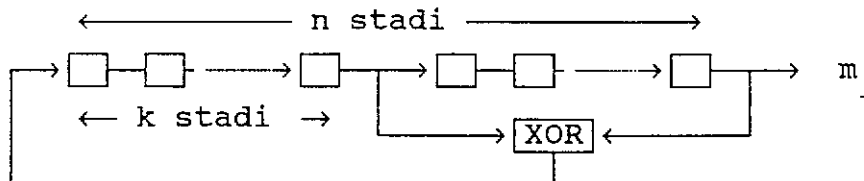


Fig. 1 - Generazione di una sequenza pseudo-random binaria.

3) **Di lunghezza massima**, o MLS (Maximum-Lenght Sequences): sequenze pseudo-random binarie possono essere generate mediante uno shift register (fig. 1); per ogni combinazione di n , k e dei valori iniziali delle celle esiste una ed una sola sequenza con la massima lunghezza possibile, che è la sequenza MLS. Pertanto il segnale MLS è **periodico** con periodo pari alla lunghezza massima:

$$L = 2^n - 1 \quad (1)$$

cioè equivale ad una serie di L impulsi, per cui a parità di energia totale ha un rapporto segnale/disturbo decisamente migliore di quello di un impulso singolo (per $n = 15$, $L = 32767$).

La proprietà più importante delle sequenze MLS è che il loro power spectrum è **indipendente dalla frequenza**, ovvero, in termini matematicamente equivalenti [1]:

$$\Phi(l) = \sum_{j=0}^{L-1} m_j m_{j+1} = \begin{cases} L & \text{per } l = 0 \text{ mod } L \\ -1 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (l \in \mathbb{N}) \quad (2)$$

Cioè la funzione di autocorrelazione $\Phi(l)$ è analoga alla funzione di autocorrelazione $\Phi_{nn}(\tau)$ di un rumore bianco $p_n(t)$ il cui power spectrum assume il valore costante N (δ è la funzione delta di Dirac):

$$\Phi_{nn}(\tau) = N\delta(\tau) \quad (3)$$

2. CALCOLO DELLA RISPOSTA ALL'IMPULSO

Per ottenere la risposta all'impulso $h_{lm}(\tau)$ tra la sorgente emittente il segnale pseudo-random $p_l(t)$, ed il microfono di misura, si può cross-correlare il segnale microfonico $p_m(t)$ con l'input, poiché vale la relazione:

$$h_{lm}(\tau) = \frac{1}{L} \Phi_{lm}(\tau) \quad (4)$$

La teoria delle sequenze MLS permette di compiere quest'elaborazione con un algoritmo digitale estremamente efficiente, basato sulla Fast Hadamard Transform, che richiede solo somme e sottrazioni di valori binari [2].

3. CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO

La risposta all'impulso $h_{lm}(t)$ contiene sia l'onda incidente sul materiale in prova, $p_l(t)$, sia l'onda da questo riflessa, $p_r(t)$; entrambe possono quindi venire estratte mediante opportune finestre temporali; dalle trasformate di Fourier di tali

segnali si risale poi al valore del coefficiente di riflessione r ed a quello di α :

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - \left| \frac{P_r(\omega)}{P_i(\omega)} \right|^2 \quad (5)$$

4. RISULTATI SPERIMENTALI

Sono stati eseguite misure dell'assorbimento acustico di una barriera stradale costituita da un pannello di fondo in calcestruzzo, da un materassino fonoassorbente di lana di vetro e da alette di supporto in calcestruzzo (fig. 2).

Le prove sono state eseguite nel rispetto delle prescrizioni AFNOR per misure impulsive [3], utilizzando sia la tecnica tradizionale (colpi di pistola a salve) sia il segnale pseudo-random MLS [4]. Le prove tradizionali sono state eseguite sparando circa 150 colpi ed analizzando i segnali ricevuti in 4 diverse postazioni microfoniche mediante un analizzatore FFT bicanale. Viceversa per la prova MLS è stata eseguita una sola misura in ciascuno dei 4 punti considerati.

In entrambi i casi il risultato delle misure è stato la risposta all'impulso. La fig. 3 ne mostra una ottenuta con il sistema MLS: i due cursori delimitano la finestra temporale assunta per l'onda diretta $p_i(t)$. I segnali sono stati pre-elaborati mediante gli strumenti di misura stessi (analizzatore FFT ONO SOKKI e scheda MLSSA), in modo da separare gli spettri dell'onda incidente e dell'onda riflessa. Tali spettri sono poi stati trasferiti ad un programma di post-elaborazione, che ha consentito il calcolo dei valori del coefficiente di assorbimento acustico a sia ad incidenza normale (0°), sia ad incidenza obliqua (30°), in accordo con le specifiche AFNOR. Nella fig. 4 sono posti a confronto i risultati ottenuti con i due metodi.

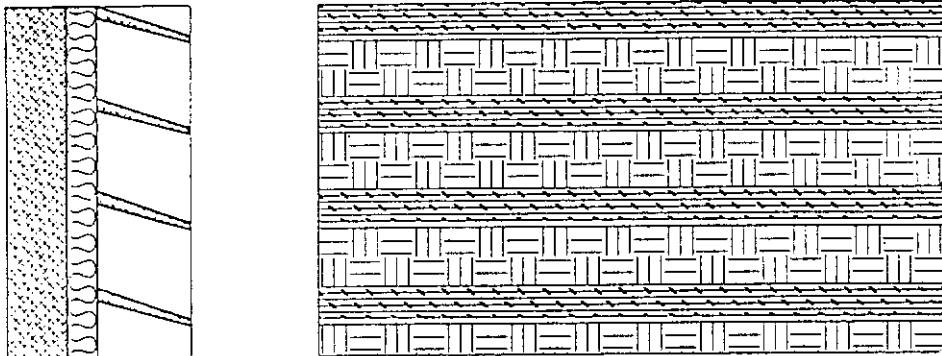
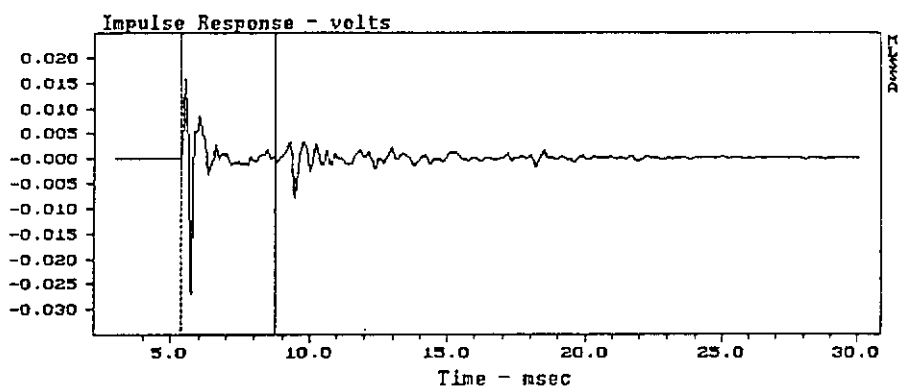


Fig. 2 - Barriera fonoassorbente con lana minerale.



X(cursor) - X(marker) = 3.9042 (51)

Fig. 3 - Risposta all'impulso - estrazione Onda Diretta.

Coeff. di Assorbimento Acustico Secondo AFNOR S31 - Incidenza Normale

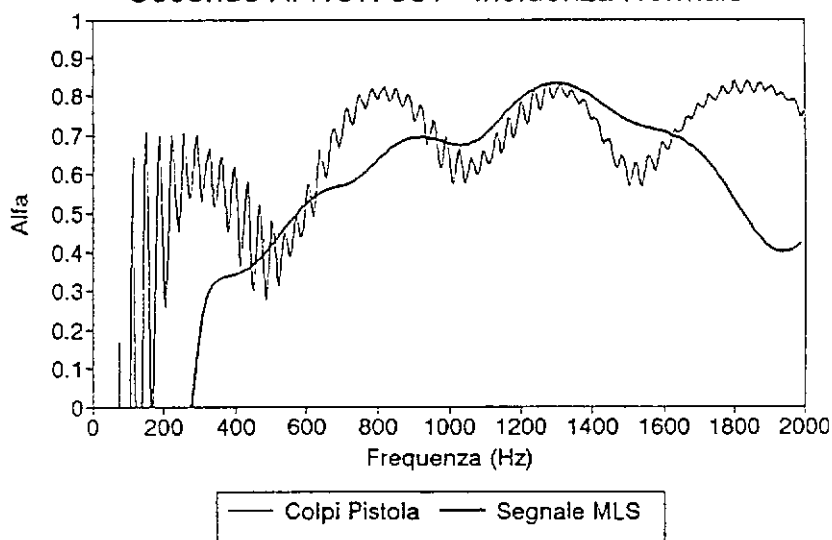


Fig. 4 - Confronto fra i coefficienti di assorbimento α .

5. DISCUSSIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Dal confronto fra i risultati ottenuti, emergono a favore del metodo delle sequenze MLS i seguenti punti:

- il tempo di acquisizione è decisamente inferiore.
- La strumentazione è globalmente più comoda da impiegare e di costo inferiore ai tradizionali analizzatori FFT.
- La misura è in larga misura immune dal rumore di fondo, che può anche superare il segnale emesso di alcuni dB senza che i risultati ne vengano inficiati.
- I segnali elaborati sono privi dell'effetto ondulatorio prodotto dalle finestre d'analisi, poiché la natura deterministica del segnale MLS consente di posizionare i margini delle finestre in punti ove il segnale passa per lo zero.
- La separazione fra le varie onde è più agevole, poiché è possibile impiegare un altoparlante con risposta all'impulso decisamente più corta dell'impulso della pistola.
- I segmenti analizzati contengono parecchie centinaia di dati, contro la decina che si hanno impiegando la tecnica tradizionale, poiché la scheda MLSSA è in grado di campionare a frequenza molto elevata (fino a 160 kHz) mantenendo nello stesso tempo una elevata risoluzione alle basse frequenze, grazie alla trasformata FFT di 32768 punti.
- Scompare la limitazione verso le basse frequenze, poiché il segnale MLS ha un periodo di alcuni secondi, e pertanto permette misure sino ad una frequenza di pochi Hz.

Si deve comunque rilevare che anche con la tecnica delle sequenze MLS rimane la limitazione verso le alte frequenze, che è dovuta a ragioni fisiche (asperità della superficie della barriera). Nel caso in esame, con asperità di 150 mm, si ottiene un limite in frequenza di soli 567 Hz.

Il fenomeno dipende dall'interferenza fra le onde riflesse da punti a distanza diversa dalla sorgente, che producono una serie di massimi e minimi al di sopra della frequenza limite. Una soluzione al problema si potrebbe forse ottenere ripetendo la misura con segnale MLS in due punti a distanza leggermente diversa dalla superficie in prova, ed impiegando nella successiva analisi delle due risposte all'impulso tecniche simili a quelle sviluppate per i misuratori di intensità sonora. E' questo uno dei futuri sviluppi della ricerca esposta.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] H. Alrutz, Ein neuer Algorithmus zur Auswertung von Messungen mit Pseudorandsignalen, DAGA 81, Berlin, 525-528 (1981).
- [2] W.T. Chu, Impulse-Response and Reverberation-Decay Measurements Made by Using a Periodic Pseudorandom Sequence, Appl. Acoust., 29, 193-205 (1990).
- [3] AFNOR NFS31-089, Code d'Essai pour la Détermination de Caractéristiques Acoustiques d'Ecrans Installés en Champ Libre, Association Française de Normalization, Tour Europe, Cedex 7, Paris La Défense (1989).
- [4] D.D. Rife, MLSSA System Manual v. 6.0A, DRA Laboratories, Sterling, VA, U.S.A. (1990).