PALAZZETTO DELLO SPORT – ROMA

Confronto diretto tra diffusore convenzionale e direttivo

Articolazione del Parlato e Riverbero

di Fabrizio Calabrese

Consigliere Nazionale della
Audio Engineering Society

Il Palazzetto dello Sport, in Roma, è stato scelto come sede elettiva per effettuare un confronto di prestazioni tra un diffusore professionale di elevate prestazioni ed un diffusore di analoga potenza (sopportata) ma di configurazione innovativa, di elevata direttività e bassa emissione oltre l'angolo di copertura.

Condizioni di misura: il Palazzetto era completamente vuoto, caso in cui il riverbero assume proporzioni veramente inconsuete. Nemmeno nelle grandi cattedrali si riscontrano condizioni simili, dato che le navate ed i rilievi diffondono l'energia riflessa, mitigandone l'evidenza all'ascolto: nel Palazzetto -invece- anche le sedute sono estremamente riflettenti e rigide.

Tipo di rilevi: oltre alle convenzionali prove di ascolto, sono stati effettuati rilievi strumentali di estrema sofisticazione, quali l'andamento della Energia Acustica rispetto al Tempo (il succedersi delle riflessioni), la Perdita di Articolazione delle Consonanti e la misura dell'Indice di trasmissione della Modulazione del parlato.

Strumentazione: per i rilievi è stato impiegato un Analizzatore Techron TEF-20, considerato lo strumento più avanzato per questo particolare tipo di applicazioni e l'unico in grado di rilevare sia mediante la Time Delay Spectrometry che mediante le sequenze digitali MLS. Entrambe le modalità sono state impiegate nel confronto. Il microfono di misura era un Bruel & Kjaer 4155.

Diffusore convenzionale: è stato scelto un diffusore professionale di notevole efficienza e potenza sopportata, impiegabile -secondo il costruttore- anche per sonorizzazioni di palasport e specificato per una direttività media. Nell'intento di fargli esprimere il meglio in termini di prestazioni esso è stato posizionato in terra, al lato del tabellone segnapunti, beneficiando così dell'incremento di efficienza connesso con la riduzione dell'angolo solido di emissione.

Diffusore direttivo: di configurazione totalmente innovativa e specifica, esso è in grado di emettere la gamma di frequenze più

importante per la resa del parlato con un rendimento di 111 deciBel per un solo watt, con riferimento ad un metro di distanza. Per confronto, i diffusori professionali con pari estensione della risposta verso le basse frequenze, come quello impiegato per il confronto, mostrano un rendimento compreso tra 93 e 99 decibel per un watt, sempre riferiti ad un metro.

Efficienze a confronto: una differenza di 15 deciBel nei rendimenti, con un vantaggio cioè di trenta volte a favore del diffusore direttivo, significa minori necessità in termini di amplificazione, minore costo e maggiore affidabilità.

Livelli di prova: tutte le misure in Time Delay Spectrometry sono state effettuate con una tensione di 8 Volt ai capi dei diffusori, di eguale impedenza (8 ohm). La potenza di prova era dunque di 8 Watt, esattamente 14 dB inferiore a quella massima sopportata dai trasduttori di entrambi i diffusori. Un margine di 14 dB (17 dB di picco) è esattamente il minimo convenzionalmente incontrato nei sistemi ben dimensionati.

Gittata dei diffusori:

Sistema convenzionale: a 15 metri di distanza si rilevano in media 80 deciBel per 8 watt (tra 200 e 3000 Hz); per 90 deciBel occorrono 10 diffusori, con lo stesso margine di dinamica, o un numero minore ma operati occasionalmente in regime di saturazione.

Sistema direttivo: a 42 metri di distanza si rilevano 87 deciBel in media, tra 200 e 3000 Hz; per 90 deciBel occorrono due soli trasduttori, eventualmente uniti nello stesso diffusore.

Dimensionamento degli impianti: in occasione di manifestazioni sportive è frequente rilevare acclamazioni del pubblico a livelli di pressione media anche superiori a 100 dB"A"Slow, con picchi lineari ad oltre 115 deciBel.
Questo fa ritenere un livello di emissione di 90 dB continuativi come un vero minimo, con la possibilità di picchi 17 dB superiori anch'essa indispensabile.
Personalmente suggerisco livelli di picco di 120 dB (Lin.) e livelli medi di 95 dB"A" Leq come il minimo indicato per impianti professionali veramente versatili, cioè non limitati al solo parlato ma atti a riprodurre anche materiali musicali, eventualmente con il supporto di sezioni per basse frequenze a noleggio.

Configurazione minima (1): il sistema direttivo richiede un minimo di tre sezioni per sonorizzare omogeneamente metà Palazzetto, ciascuna con doppi trasduttori ed un minimo di 4/500 Watt per sezione, dunque una potenza minima totale di 2,4/3 Kilowatt, per 90 deciBel (8-10 KW per 95 dB medi). Si tratta di potenze accettabili, anche nel caso si dimensioni per 95 dB, occorrenza per la quale è indicato frazionare l'impianto in due metà, poste sopra i tabelloni segnapunti ed operate in stereofonia.

Configurazione minima (2): con diffusori convenzionali come quello oggetto della prova non è pratico ipotizzare gittate superiori ai

15 metri e livelli di operazione al di sopra dei 90 deciBel medi. Con dodici sezioni, ciascuna composta da una coppia di questi diffusori e pilotata da amplificatori per 500 Watt, sospese a circa 15 metri di altezza, si ottengono appena 86 deciBel medi, anche tenendo conto della sovrapposizione tra le coperture dei due gruppi adiacenti. Per un minimo di 90 dB medi occorrono dunque gruppi di tre diffusori, di dispersione incerta, o potenze più elevate di quelle permesse per diffusore, con evidenti implicazioni in termini di minore affidabilità.
Comunque la potenza totale richiesta -per 90 dB medi- è di circa 18.000 (diciottomila) watt. Anticipando appena le evidenze emerse alle misure, questa configurazione si rivelerebbe comunque inaccettabile in termini di ridotta articolazione del parlato.

Le prestazioni rilevate

Il grafico di Fig.1 -*per il diffusore convenzionale*- mostra il livello di intellegibilità del parlato a 15 metri di distanza ed in funzione della frequenza: si tratta di una misurazione particolarmente sofisticata, ottenuta per processamento dei dati raccolti con la tecnica MLS (Maximum-Lenght-Sequences).
Il livello di modulazione del parlato è in media ridotto allo 0,41, con una corrispondente Perdita di Articolazione (AL.Cons.) del 18 per cento, inaccettabile. Nel caso di 12 sezioni la quantità di riverbero si moltiplicherebbe di circa sei volte, ed altrettanto la compromissione della intellegibilità: nemmeno la presenza dell'assorbimento causato dal pubblico potrebbe qualcosa, in queste condizioni.

Il grafico di Fig.2 -*per il diffusore direttivo*- mostra, alla stessa distanza, un comportamento spettacolare in termini sia di indice di modulazione, pari a 0,70, che di Perdita di Articolazione (AL Cons.), quest'ultima inferiore al 4 per cento. Con sei sezioni parzialmente sovrapposte nella copertura si resterebbe ancora al di sotto del 15 per cento di AL Cons. a Palazzetto completamente privo di pubblico: in effetti la distanza media tra diffusori e pubblico si eleva, maggiormente per la versione di impianto su un solo lato, assai meno per la coppia di sezioni al di sopra di ciascun tabellone.

Va a questo punto segnalato il fatto che un diffusore veramente direttivo risente moltissimo ed in positivo della presenza del pubblico e del contributo di questo in termini di assorbimento. Diversamente -infatti- dai diffusori convenzionali, che inviano la gran parte della energia acustica emessa verso aree non occupate (la volta del palazzetto, p.es.), i sistemi direttivi confinano l'emissione alle aree occupate -dunque causando un crollo della intensità del campo riverberato nel caso le gradinate siano occupate dal pubblico.

Il grafico di Fig.3 -*per il diffusore convenzionale*- è di grande interesse, dato che mostra l'andamento della Energia Acustica rispetto al Tempo, ovvero il succedersi delle riflessioni una volta pervenuta l'emissione diretta dal diffusore, che si scorge

bene nel primo picco isolato (a 45 millisecondi, cioè 15 metri). Questo grafico, come i successivi simili, è stato rilevato nella gamma di frequenze tra 1400 e 2600 Hz, quella dove è concentrata l'articolazione delle consonanti (le due formanti superiori del parlato).

Si riconosce bene, dopo il primo arrivo di energia dai diffusori, un intervallo di attesa, prima che le riflessioni si diffondano a formare un vero campo riverberato, che poi decade con un tempo di riverbero qui pari a circa nove secondi (!).
Nel complesso l'energia delle riflessioni supera di 3,5 dB quella degli arrivi diretti e la Perdita di Articolazione delle Consonanti è superiore al 22 per cento, inaccettabile.

Per confronto, il grafico di Fig.4 -*per il diffusore direttivo*- sempre a 15 metri di distanza ed in asse, mostra un arrivo di energia diretto non solo superiore in livello, ma nettissimo e seguito in pratica da riflessioni di entità talmente ridotta da non interferire né a livello di intellegibilità che di vera e propria percezione delle stesse.
Con riflessioni in media 30 dB inferiori all'arrivo diretto è addirittura improprio parlare di "campo riverberato" e di "tempo di riverbero", in quanto probabilmente inaudibili entrambi.

Il complesso delle riflessioni è inferiore all'arrivo diretto dai diffusore di oltre 8 deciBel: con sei sezioni operative si raggiungerebbe appena la parità tra i livelli: la stima di AL Cons. è di appena il sei per cento, appena avvertibile a Palazzetto vuoto.

Il grafico di Fig.5 -*per il diffusore convenzionale*- mostra il succedersi degli arrivi di energia acustica ad una distanza di misura di circa 40 metri, sempre nella banda di frequenze delle due formanti superiori della voce: a questa distanza si riduce anche il periodo iniziale che precede il formarsi di un campo riverberato diffuso e l'intensità di questo prevale di oltre 8 deciBel sull'arrivo diretto dai diffusori.
In queste condizioni il parlato è inintellegibile (oltre il 36 per cento di AL Cons.) già con un solo diffusore: con dodici sezioni operanti il livello delle riflessioni si eleverebbe di altri 8 dB, rendendo l'emissione diretta dai diffusori completamente indistinguibile.

Il grafico di Fig.6 -*per il diffusore direttivo*- mostra invece ancora una prevalenza del campo diretto (+2,3 dB) sul riverbero, nonostante i 40 metri di distanza tra il diffusore ed il microfono di misura. La Perdita di Articolazione delle Consonanti (AL Cons.) è ottima, con appena l'undici per cento, nonostante lo spazio sia privo di pubblico.

E' perfettamente prevedibile che la presenza del pubblico compensi anche oltre il necessario l'aumento del riverbero dato dalla contemporanea operazione di sei sezioni: se si osserva con attenzione l'entità delle riflessioni, in media 25 dB al di sotto dell'arrivo diretto, si può dedurre che, anche elevate di 8 dB circa, possano ben poco rispetto ai 10-12 dB di assorbimento

forniti dalla presenza del pubblico proprio nelle aree sulle quali incide la gran parte della energia acustica.

Sino ad ora sono state esaminati gli arrivi di energia e le riflessioni nella gamma di frequenze tipica delle consonanti (cioè delle formati superiori): per queste frequenze sono commercialmente disponibili diffusori a tromba di una certa direttività, sebbene mai specificati in termini di "quanta" energia essi inviino al di fuori del loro angolo di copertura. Scorrendo i cataloghi con le caratteristiche di dispersione di numerosi diffusori a tromba per medie frequenze si incontrano spesso gli stessi angoli di copertura per trombe di proporzioni e costi assai diversi: inevitabilmente il diffusore di dimensioni maggiori copre con maggiore precisione l'angolo indicato nelle specifiche, con una emissione più ridotta di energia al di fuori di questo.

La pratica commerciale ha considerato sempre la dispersione soltanto in funzione della omogeneità di resa nell'area coperta e mai in quanto a rapporto tra l'entità della emissione in asse, o entro la copertura, rispetto alle emissioni verso ogni altro settore di spazio.
Osservando i grafici di dispersione di tante trombe, è facile rilevare consistenti emissioni verso i lati, specie nella più recente generazione di trombe a frontale piano e ridotte dimensioni.

In ogni modo l'impiego di trombe direttive cessa di essere praticabile a frequenze inferiori agli 800 Hz circa: le dimensioni divengono proibitive, come i costi, ed i drivers (i trasduttori che le pilotano) mostrano seri problemi di escursione e distorsione. Le trombe per medio-bassi sono solitamente così poco direttive da non essere mai consigliate per applicazioni critiche in termini di intellegibilità del parlato.

Ora accade che tra i 250 ed i 700 Hz sia posta la prima delle formanti della voce, anch'essa indispensabile nella percezione della modulazione.

Il grafico di Fig.7 -*per il diffusore convenzionale*- mostra il succedersi degli arrivi di energia acustica nella banda di frequenze di una ottava attorno ai 250 Hz: anche ad appena 15 metri di distanza il complesso delle riflessioni supera di oltre 5 deciBel l'arrivo diretto, con un indice di modulazione di appena 0,36 (AL Cons.= 24 %), insufficiente.

Per confronto, il grafico di Fig.8 -*per il diffusore direttivo*- mostra un primo arrivo di energia diretta dal diffusore ben netto e superiore al complesso di tutte le riflessioni (di 1,3 dB). L'indice di modulazione è di 0,49 (AL Cons.= 11 %).
Ancora una volta per il diffusore direttivo si presenta il caso di riflessioni inferiori di 15-20 dB al campo diretto, e dunque relativamente inavvertibili in quanto mascherate da questo.

Il due ultimi grafici mostrano il risultato di un particolare processamento dei dati raccolti mediante una sequenza di impulsi MLS. Nello stesso grafico sono sovrapposte le due curve risultanti

dal processamento in FFT della parte iniziale della risposta all'impulso, contenente l'arrivo di energia diretta dal diffusore (la curva superiore), nonché la curva ottenuta processando un tratto della risposta impulsiva ritardato di circa mezzo secondo (la curva inferiore).
Dato che il secondo tratto della risposta all'impulso non include l'arrivo diretto, la FFT di questo mostra in pratica la risposta energetica totale del diffusore.

Quando le due curve scorrono parallele, come nel caso del grafico di Fig.9 -*per il diffusore convenzionale*- si deduce una dispersione costante al variare della frequenza e tanto più elevata quanto minore è la differenza tra le due curve: qui di appena 5.6 deciBel.

Quando invece, come nel caso del grafico di Fig.10 -*per il diffusore direttivo*- le due curve sono ben distaccate, allora è evidente il contenimento estremo della emissione al di fuori dell'area di copertura, anche a frequenze insolitamente basse. Anche a 200 Hz (onde lunghe 170 cm.) il diffusore direttivo lo è almeno il doppio di quello convenzionale; salendo in frequenza il margine si accresce, ma con grande gradualità.
Con la particolarissima configurazione di questi diffusori è possibile operare una regolazione della dispersione alle frequenze medio-alte, in modo di renderla eguale a quella nella gamma medio-bassa: in pratica una opportunità utile solo negli impieghi a distanza ravvicinata.

Una particolarità che non va dimenticata, nel confrontare questi ultimi due grafici, è che essi sono stati rilevati con la stessa tensione e potenza ai capi dei due diffusori: la differenza di livelli di pressione sonora è la stessa naturalmente presente in condizioni reali di impiego.

Conclusioni:

E' stata dimostrata, con il supporto di una ampia serie di rilievi strumentali, la grande superiorità di una nuova configurazione di diffusori direttivi, nel confronto diretto con un diffusore tradizionale di ottime prestazioni.

Lo spazio ove si è svolta la prova è tra i più impegnativi in assoluto in quanto a difficoltà di ottenimento di un sufficiente livello di intellegibilità del parlato: la prova è stata svolta in assenza di pubblico e dunque senza il contributo di assorbimento dato da questo.

La presenza di pubblico avrebbe intuitivamente avvantaggiato ancor di più il diffusore direttivo, della cui energia emessa il pubblico avrebbe intercettato ed assorbito una quota ben maggiore di quanto nel caso del diffusore convenzionale.

Non solo le prestazioni del diffusore direttivo sono tali da consentire una gittata utile di oltre 40 metri con parlato intellegibile, ma anche l'impiego di un numero ridotto di sezioni

per sonorizzare l'intero Palazzetto a livelli anche di 95 deciBel medi.

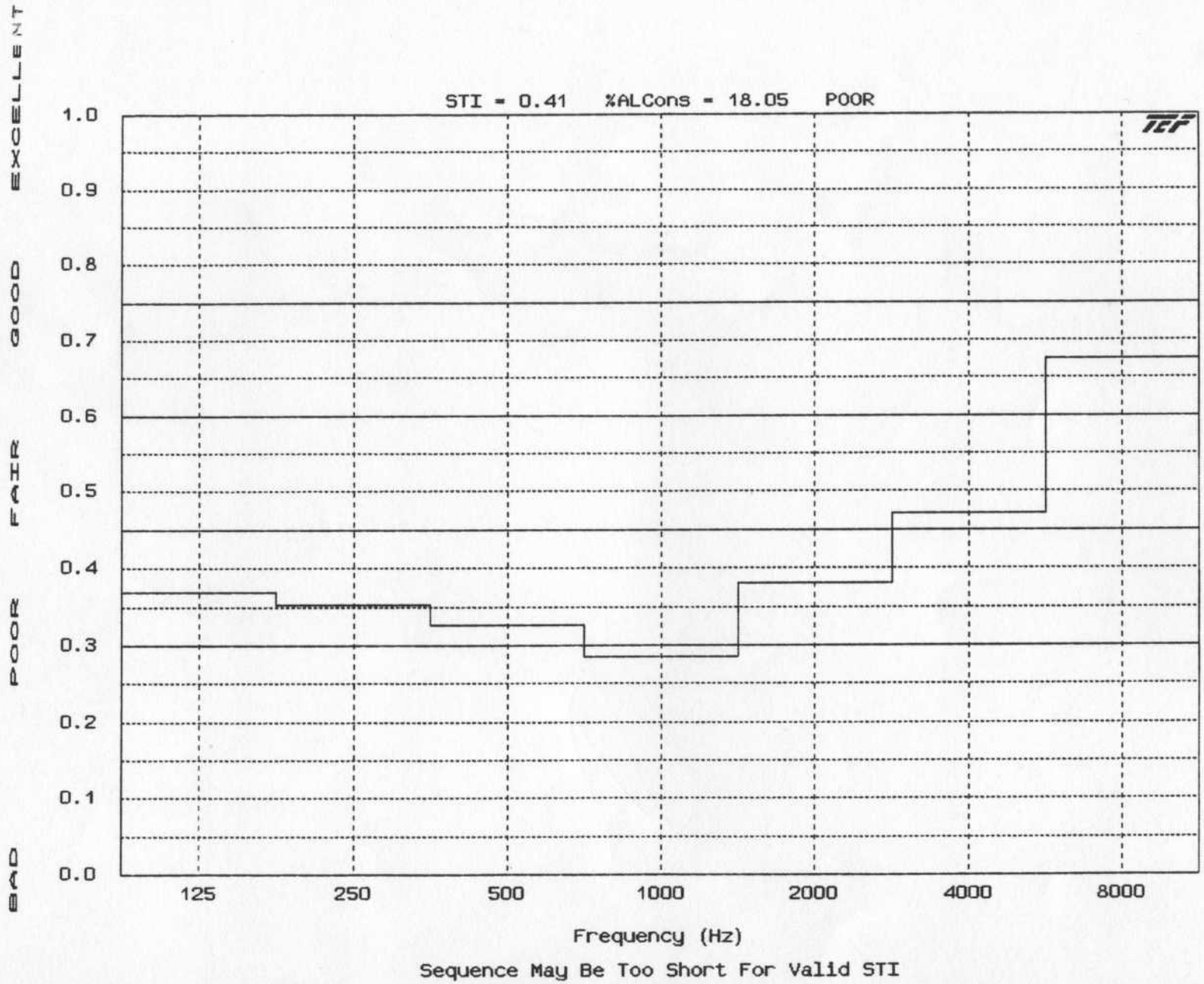
Nel caso dei diffusori convenzionali il rendimento (pure elevato) è inferiore al punto di necessitare di almeno 12 sezioni, da sospendere entro i 15 metri di gittata massima utile: in ogni modo la intellegibilità del parlato resterebbe compromessa dalla eccessiva energia del campo riverberato prodotto sia da una che da tutte le 12 sezioni.

La potenza complessiva richiesta per il sistema direttivo è comunque pari alla metà di quella minima necessaria per il sistema convenzionale: con il sistema direttivo sono raggiungibili livelli di pressione sonora comunque più elevati e tali da assicurare l'intellegibilità dei messaggi anche nelle fasi più accese del gioco e con il pubblico acclamante.

Infine si segnala la innovazione tecnologica della configurazione, sperimentata in Italia circa otto anni prima di corrispondenti proposte a livello internazionale: questi anni permettono di disporre di prodotti di seconda o terza generazione, per esempio di sistemi direttivi anche nella gamma delle basse frequenze (sotto 200 Hz e fino anche a 30-40 Hz), commercialmente ancora del tutto sconosciuti.

Roma 20 gennaio 1998

Fabrizio Calabrese



File: STI72.MLS

Fig.1 -diffusore convenzionale-
Palazzetto dello Sport - Roma
Indice di Modulazione del Parlato

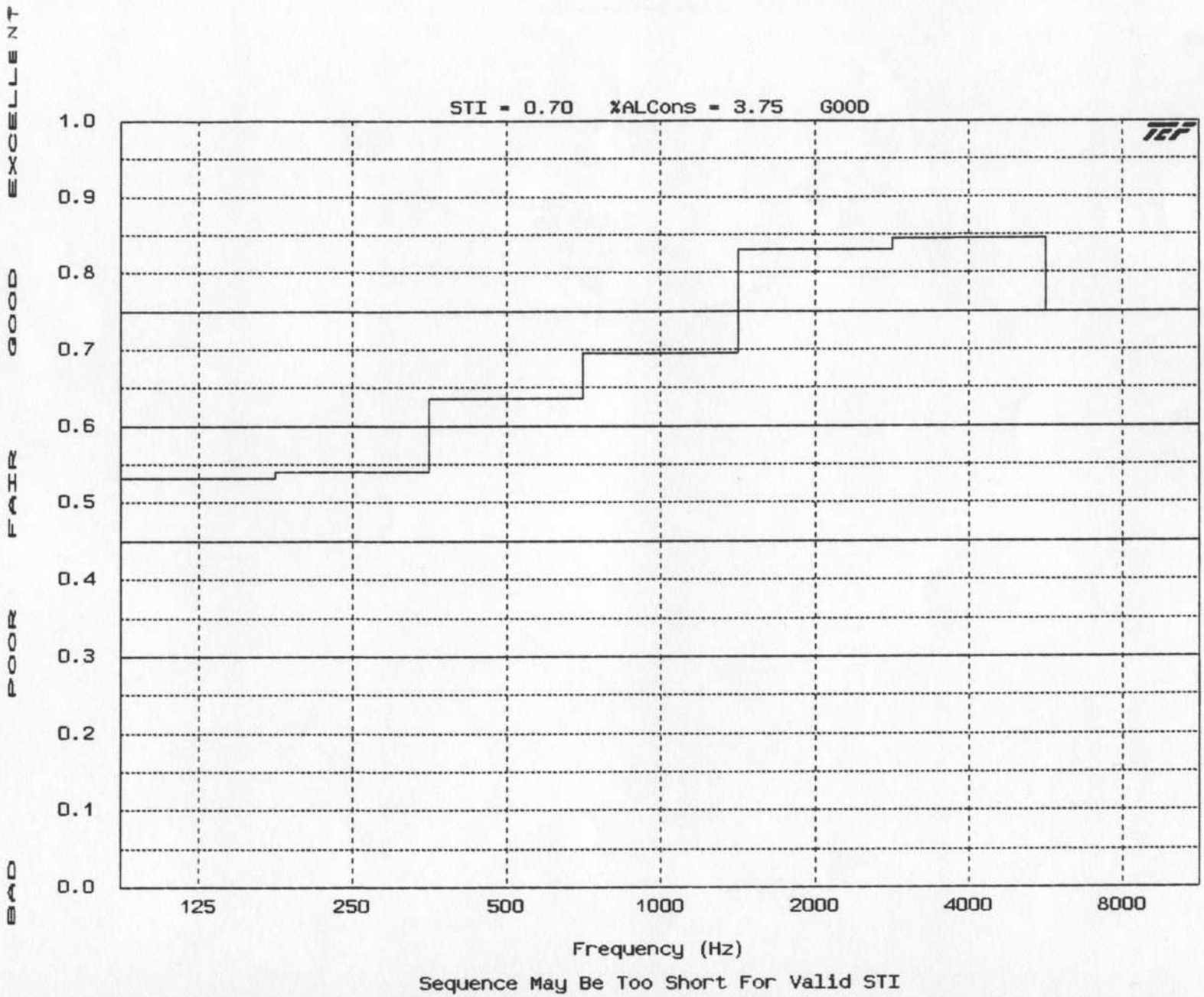
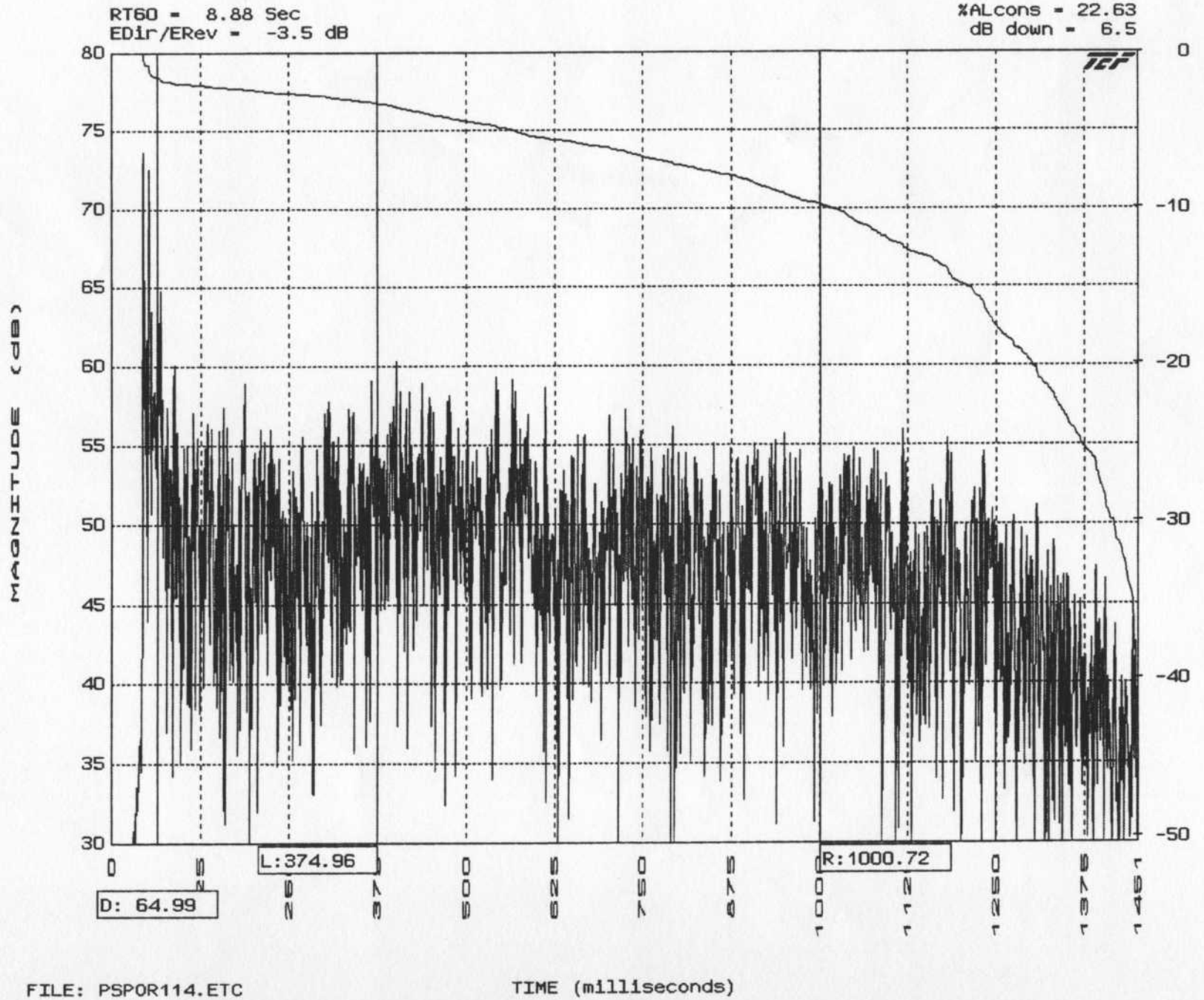


Fig.2 -diffusore direttivo-
Palazzetto dello Sport - Roma
Indice di Modulazione del Parlato

File: STI71.MLS



FILE: PSPOR114.ETC

Fig.3 -diffusore convenzionale-
Palazzetto dello Sport - Roma
Energia Acustica vs. Tempo (2Khz)

Fig.4 -diffusore direttivo-
Palazzetto dello Sport - Roma
Energia Acustica vs. Tempo (2Khz)

Fig.5 -diffusore convenzionale-
Palazzetto dello Sport - Roma
Energia Acustica vs. Tempo (2Khz)

Fig.6 -diffusore direttivo-
Palazzetto dello Sport - Roma
Energia Acustica vs. Tempo (2Khz)

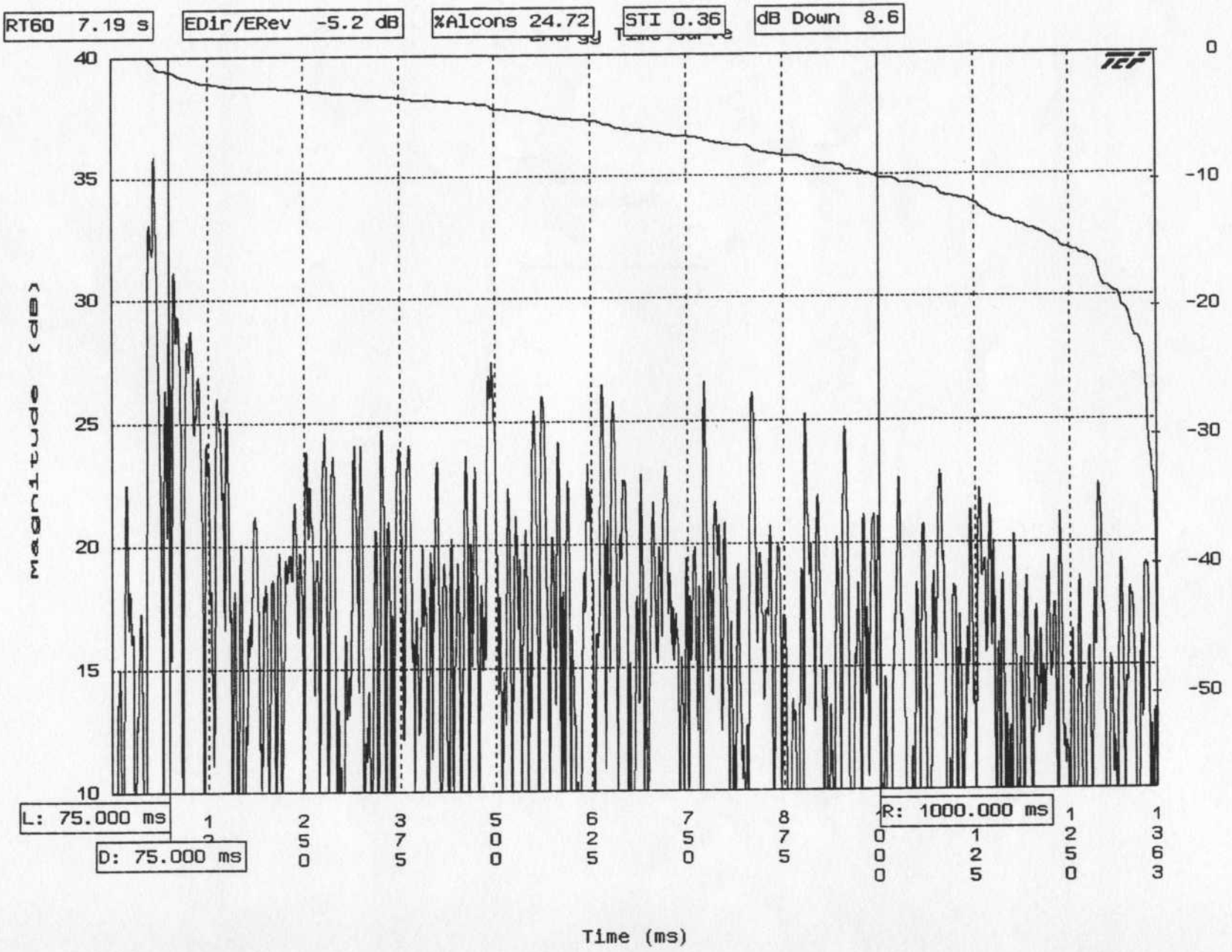


Fig.7 –diffusore convenzionale–
Palazzetto dello Sport – Roma
Energia Acustica vs. Tempo –250Hz

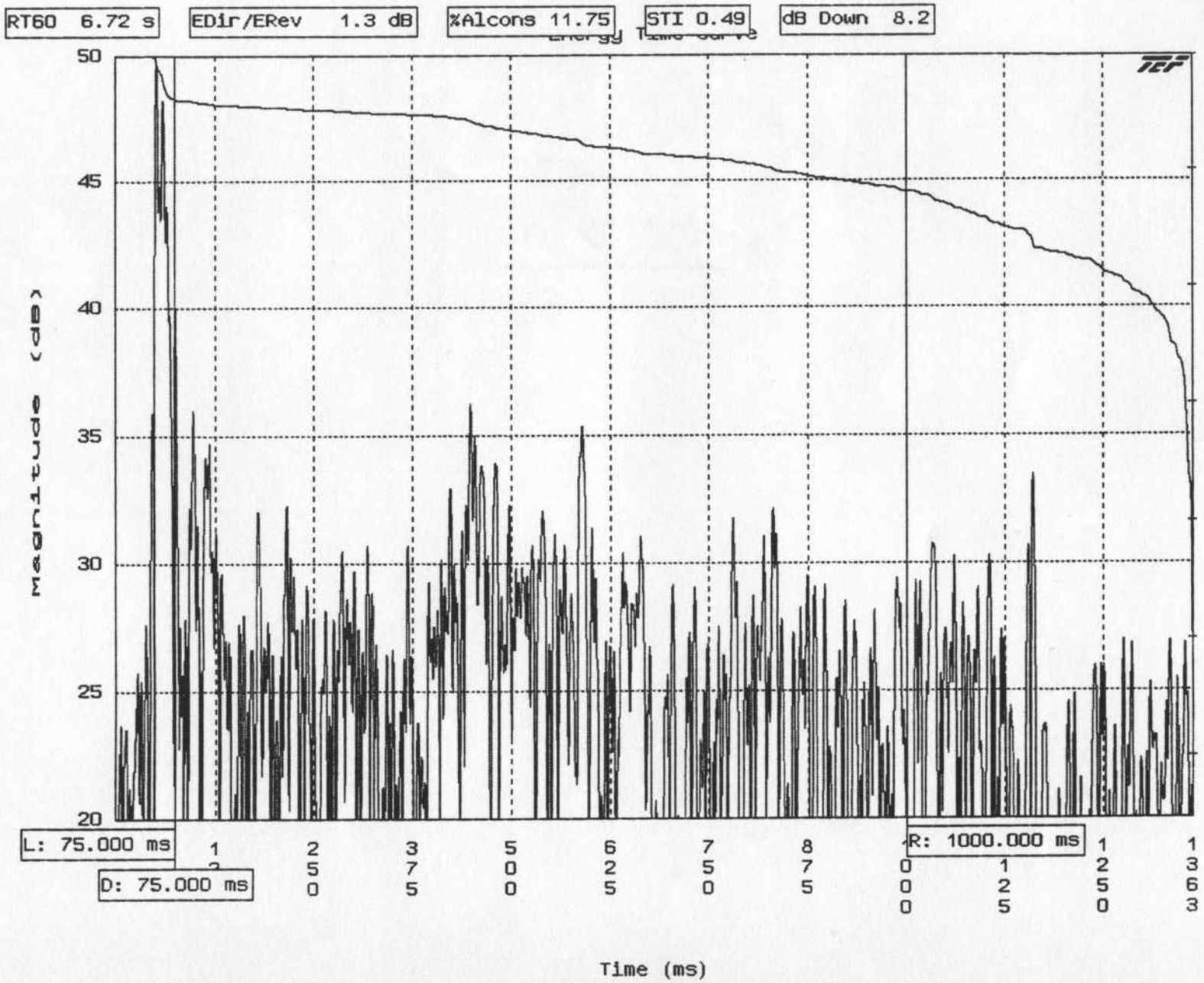


Fig.8 -diffusore direttivo-
Palazzetto dello Sport - Roma
Energia Acustica vs. Tempo -250Hz

File: PSPORT71.MLS

Filter: 250 Hz Oct

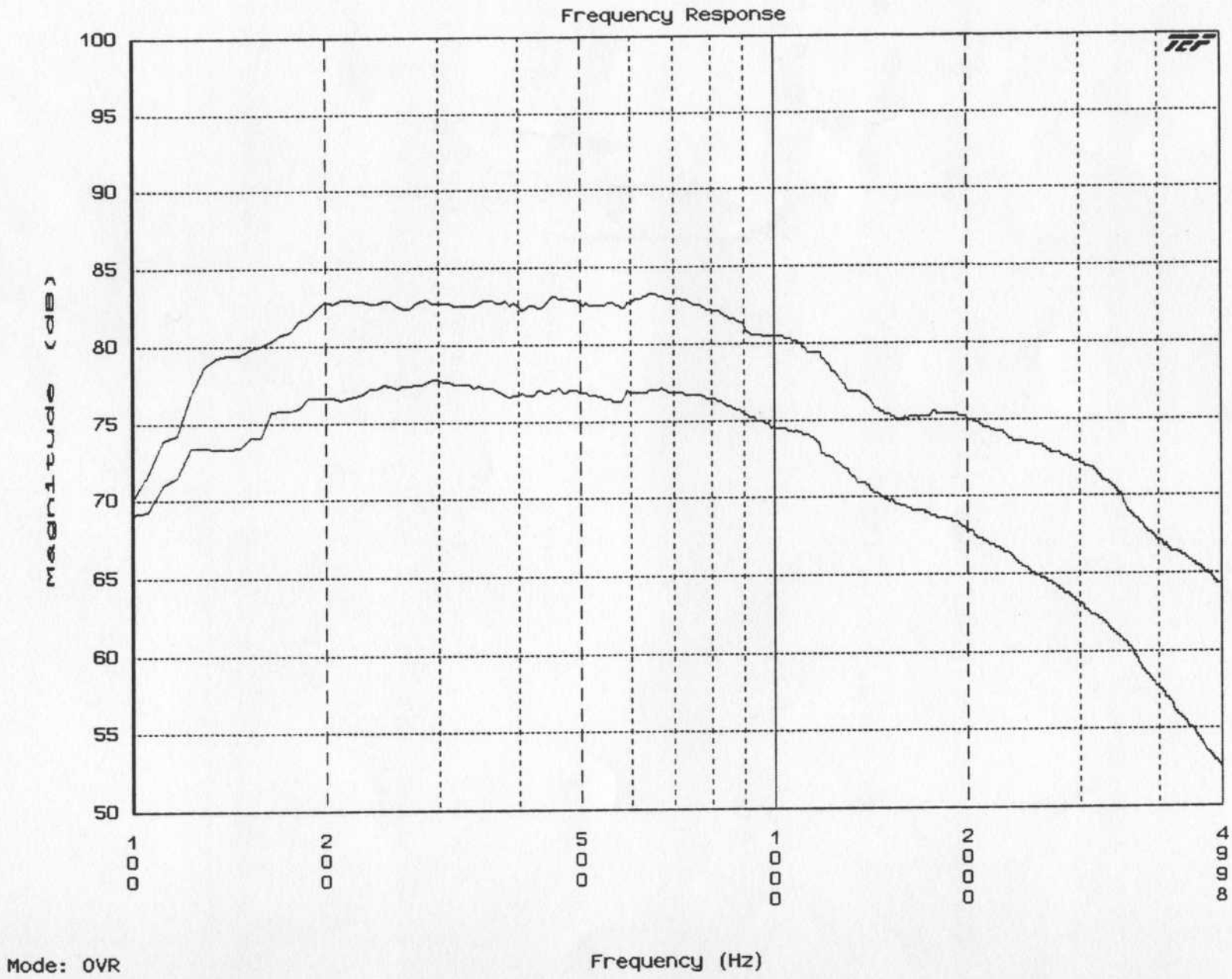


Fig. 9 -diffusore convenzionale-
Palazzetto dello Sport - Roma
FFT: Campo diretto e dopo 0,5 s-

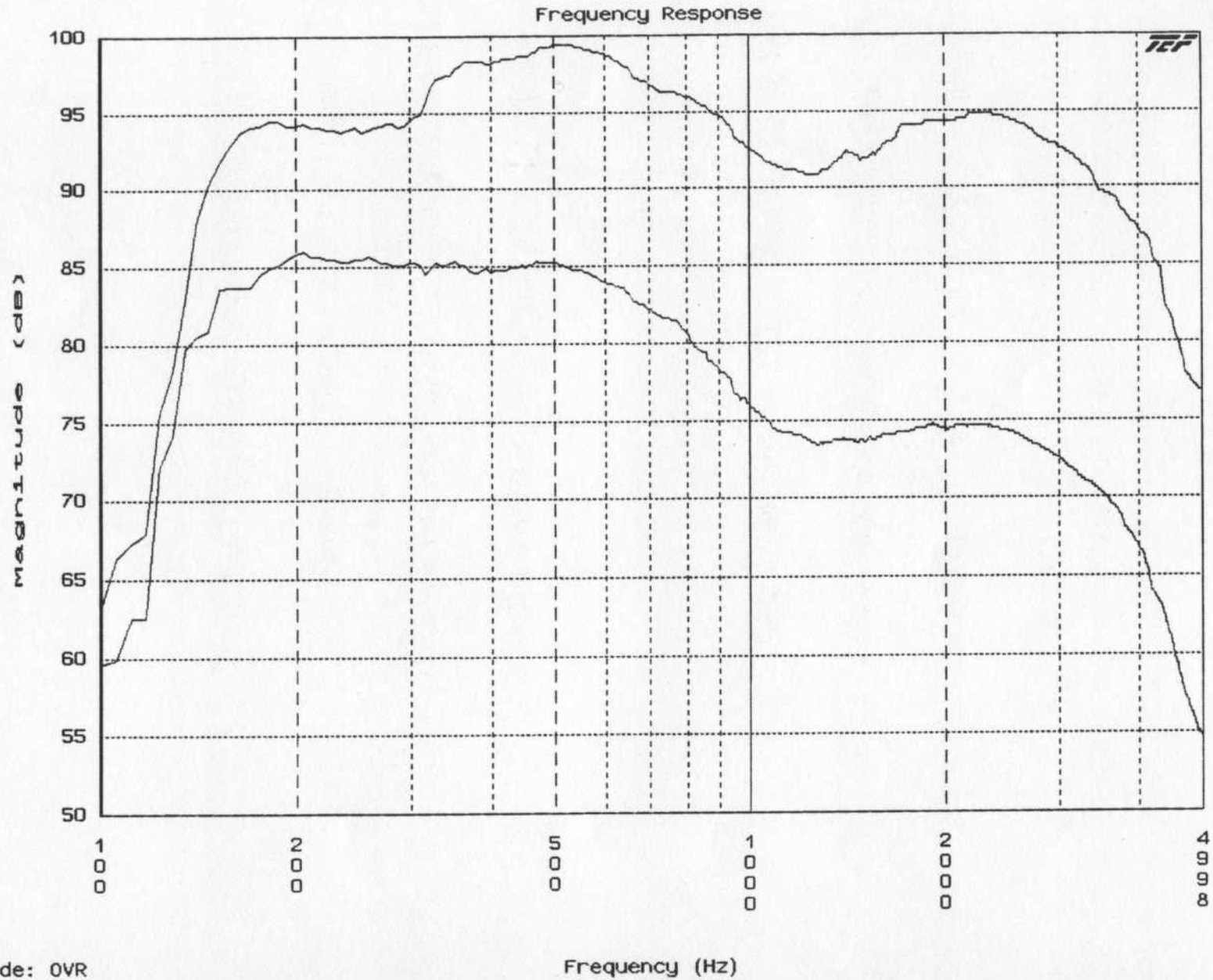


Fig.10 -diffusore direttivo-
Palazzetto dello Sport - Roma
FFT: Campo diretto e dopo 0,5 s.