

# Confronti tra strumenti ultrasonori e sviluppo di nuova strumentazione dedicata

*F. Carretto°, V.A.M. Luprano°, M. Puccini, A. Tati, A. Tundo*

*ENEA CR CASACCIA FIM MAT*

*ENEA CR BRINDISI FIM MAT*

[tatiangelo@casaccia.enea.it](mailto:tatiangelo@casaccia.enea.it)

[luprano@brindisi.enea.it](mailto:luprano@brindisi.enea.it)

## Sommario

Nell'ambito dello studio sulla resistenza e sulla durabilità dei materiali strutturali in particolare il calcestruzzo effettuato sugli edifici di Punta Perotti sono state condotte attività in laboratorio per verificare la correlazione tra le prove non distruttive, in particolare gli ultrasuoni, con le prove a compressione di provini cilindrici 10 x 20 cm e 3 x 3 cm estratti con il carotaggio.

Inoltre si è voluto verificare la correlazione tra le misure ultrasonore effettuate in laboratorio e quelle in *situ*. Inoltre è stata condotta una campagna di misura confrontando diversi strumenti ultrasonori, valutando la loro efficienza e i loro limiti ed è stata presa in considerazione l'influenza dell'operatore sulla misura e il tipo di accoppiante utilizzato per il contatto sonda-campione. Le misure sono state effettuate su 181 carote standard e 270 carote piccole per un totale di 451 campioni. Le misure ultrasonore effettuate, comprensive di medie e l'utilizzo di 3 strumenti diversi, ammontano a circa 3000 misure. I dati complessivi sono 4163 per le carote grandi e 3640 per le carote piccole.

I risultati ottenuti sono stati compilati su un foglio elettronico ordinando i dati in funzione del piano e della sigla identificativa dell'elemento strutturale (pilastri), per calcolare la velocità ultrasonora media, il calcolo della densità dei singoli campioni e del rapporto dimensionale.

I dati mediati sono stati importati su un database relazionale dove la sigla del campione rappresenta la chiave di accesso alle misure relative. La banca dati può essere interrogata attraverso delle maschere di query per estrarre i dati da processare con altri programmi di analisi statistica e sono state create delle maschere per l'inserimento dei dati delle microcarote.

E' stato sviluppato e testato un sistema di acquisizione dei dati ultrasonori ed un software basato su PC portatile e ambiente Windows e che rispondesse alle esigenze scaturite dal confronto degli strumenti. Il software ottimizza il funzionamento e le procedure di misura in particolare l'impostazione dei dati, la lettura del segnale, il salvataggio dei dati e la redazione del report finale.

Per rendere ripetibili le misure ultrasonore è stato sviluppato un sistema a sonde non a contatto che esclude la variabile pressione esercitata dall'operatore sulla sonda.

## **Introduzione**

L'ordinanza 3274 prescrive per il livello di conoscenza 3 prove esaustive su i materiali, in particolare l'esecuzione di prove invasive (carotaggi) e prove meccaniche. Con il presente lavoro si vuole dimostrare la correlazione tra le prove non distruttive, in particolare la tecnica ultrasonora, e le prove invasive. Il numero considerevole di prove non distruttive in campo, di prelievi di carote e di prove in laboratorio sia ultrasonore che meccaniche effettuare sugli edifici di Punta Perotti avvalorare la tesi dell'ordinanza che prescrive per le prove non distruttive un numero 3 volte maggiore rispetto ai prelievi di materiale. Le prove ultrasonore hanno dimostrato una maggiore accuratezza rispetto al metodo sclerometrico perché il metodo indaga l'intero spessore dell'elemento mentre lo sclerometro ne analizza una piccola porzione.

## **Le procedure**

Le operazioni svolte in laboratorio sono state:

- Taglio e Rettifica dei provini cilindrici
- Peso e dimensioni dei campioni
- Misure ultrasonore
- Prove meccaniche
- Redazione Report in Excel
- Redazione Banca dati in Acces

Le norme di riferimento applicate alle prove sono state:

- Prova sul calcestruzzo indurito - Resistenza alla compressione dei provini UNI EN 12390-4:2002
- Calcestruzzo indurito. Rilievi microsismici mediante impulsi d' onde vibrazionali ad alta frequenza, in campioni o strutture di calcestruzzo semplice, armato o precompresso. UNI 9524:1989 + A1:1992

La rettifica dei provini è stata realizzata dalla GEOCAL di Cosenza tramite rettificatrice. I campioni sono stati misurati in termine di peso, altezza, diametro. Le facce sono state controllate e verificate secondo le norme UNI 9524:1989 + A1:1992



Fig, 1 Misure dimensionali

### Misure ultrasonore

Gli strumenti utilizzati e confrontati sono stati:

- Strumento UT con display integrato e interfaccia con pulsanti
- Strumento UT con display integrato interfaccia DOS
- Strumento UT utilizzante palmare



Fig. 2. Misure ultrasonore

Le procedure utilizzate per la misura delle velocità ultrasonora dei campioni sono state effettuate ad ogni inizio giornata ed ad ogni accensione degli strumenti. La procedura di zero prevede le sonde accoppiate direttamente e la verifica del tempo zero sulla base dei tempi dell'oscilloscopio. La misura sul campione di riferimento verifica il tempo di propagazione che deve essere uguale a quella scritta sullo stesso campione (provvisto di certificato di taratura) e corrisponde di solito a circa 50  $\mu$ sec. La misura sui campioni viene effettuata ponendo il provino tra le due sonde, una trasmittente ed una ricevente, le facce sono bagnate di liquido accoppiante che garantisce il passaggio dell'onda ultrasonora (onda di compressione o longitudinale). La misura viene effettuata 3 volte sullo stesso campione e i valori di velocità letti non devono discostarsi dal valore medio più del 2%. Tutte le carote di diametro 100 mm sono stati sottoposti alla misura ultrasonora dei tre strumenti provvisti ognuno di coppie di sonde di frequenza 50 KHz.

Sono state eseguite inoltre due prove supplementari che hanno riguardato:

- Il confronto tra misure effettuate sullo stesso campione e 6 operatori diversi questo per ogni strumento
- Il confronto tra misure di velocità e liquidi accoppianti diversi questo per ogni strumento

Le microcarote di diametro 33 mm sono state tagliate e rettificate secondo la norma in un rapporto altezza/diametro pari ad 1. Da ogni singola microcarota sono stati estratti fino a 5 provini cilindrici. Per le misure dei provini cilindrici è stato sviluppato un programma di acquisizione dei segnali ultrasonori ed elaborazione dei dati per rispondere alle esigenze scaturite dal confronto dei tre strumenti.

Le prove meccaniche di compressione sono state effettuate con macchina a compressione certificata sui provini cilindrici di sezione 100 mm e 33 mm estratti dall'edificio di Punta Perotti. Sono stati schiacciati ed è stato registrato il grafico resistenza a compressione/tempo dove il valore massimo è quello di rottura.

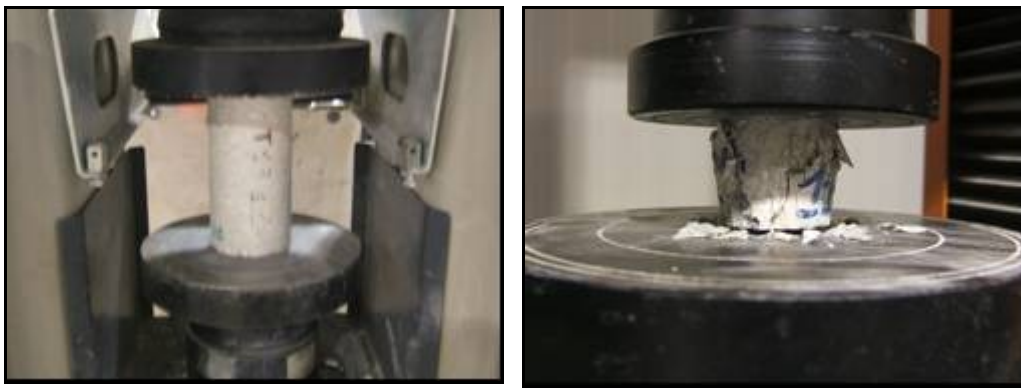


Fig. 3 e 4 prove meccaniche

Inoltre sono stati analizzati il tipo di rottura in base alla normativa e annotando per quelle non a norma la sigla corrispondente allo schema:

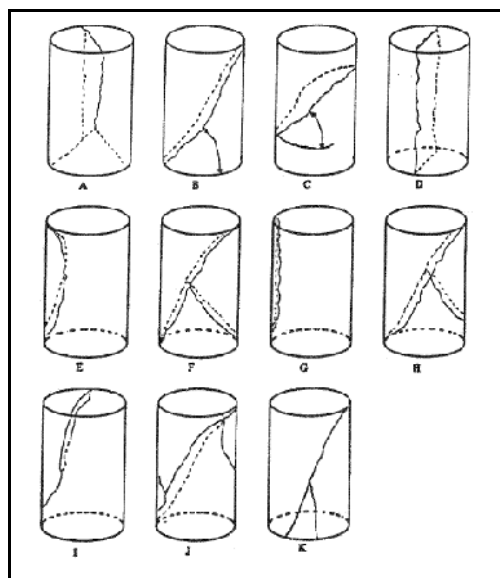


Fig. 5. Tipo di rottura

Le misure sono state effettuate su **181** carote standard e **270** microcarote (su 800 ) per un totale di **451** campioni. Le misure ultrasonore effettuate, comprensive di medie e l'utilizzo di 3 strumenti diversi, ammontano a circa **3000** misure. I dati complessivi sono **4163** per le carote e **3640** per le microcarote.

### Banca Dati

Le misure sono state memorizzate su un foglio di calcolo elettronico che ha eseguito i calcoli del volume, densità, rapporto altezza/diametro, formule di correlazione SONREB ( RILEM, Pascale) e media delle velocità ultrasonore relative a tre strumenti ultrasonori. Il foglio elettronico è stato suddiviso, in cartelle, secondo i piani dell'edificio per un corretto inserimento degli stessi. La sigla del campione identifica il piano dell'edificio, numero del pilastro, la stazione di lavoro, l'orientamento.

data	ora	sigla	peso gr	RN a rottura	Diametro	distanza	volume (mm³)	P/V (kg/mc)	Vel 1 m/s	Vel 2 m/s	Vel 2 m/s	MEDIA	Vel 1 m/s	Vel 2 m/s	Vel 2 m/s	MEDIA	Vel 1 m/s
17/05/2007	14:55:11	X 30 A/S 2	4043	54 E	105,8	215,8	1.808.228	2,26	430E	432C	431R	4.315,33	434R	434R	436D	4.252,67	440F
		X 31 A/S 2	3852	54 F	105,8	211,4	1.788.818	2,18	400E	396D	399T	3.974,00	402F	398D	398D	3.995,00	410I
		X 32 A/S 2	3032	54 G	105,8	208,8	1.774.528	2,13	413E	410E	411E	4.111,00	413F	412E	407E	4.112,67	420L
		X 23 A/S 1	3731	54 H	104,1	195,3	1.638.200	2,13	406E	403I	401E	4.036,00	405A	402F	404E	4.041,00	411E
		X 23 A/V	3630	51 E	105,8	204,2	1.727.550	2,14	386E	387D	383D	3.875,00	390D	384A	380D	3.897,67	40E4
		X 23 A/V	4111,5	54 F	105,8	211,8	1.797.811	2,26	427E	415E	427T	4.257,00	436E	436E	439E	4.280,00	450F
		X 36 D/2	3753	2E E	105,7	207,6	1.762.554	2,15	407E	404E	402E	4.048,00	398E	398D	397T	3.983,33	416E
		X 27 A/V	3753	5E E	105,8	208,8	1.738.881	2,19	405I	402E	401E	4.021,00	407E	406E	410I	4.082,67	420E
		X 26 J/S 1	3753	27 L	105,8	208,8	1.738.881	2,19	394L	399E	397J	3.979,67	403D	400D	400E	4.011,00	417L
		X 34 A/S 2	3930	5C E	104	211,9	1.795.000	2,22	400A	403E	403E	4.074,00	417A	413D	419E	4.168,00	425I
		X 36 J/S 1	3935	5E E	104	207,9	1.768.087	2,23	418E	414E	420E	4.142,33	418E	420E	419E	4.197,67	440F
		X 36 A/V 2	3848	5F E	105,8	210,2	1.738.784	2,18	405E	406E	405E	4.051,33	404E	404	404D	4.043,33	425A
		X 25 A/V 1	3847	51 E	104	210,6	1.768.174	2,15	402E	402E	397I	4.009,00	400E	393E	399E	3.978,33	414E
		X 36 D/1	3779	5E E	105,8	208,2	1.774.810	2,13	387E	381E	380E	3.823,00	407D	388E	388I	3.894,00	416E
		X 42 D/2	3774	57 I	105,8	201,7	1.747.410	2,21	413L	410E	413E	4.111,67	419D	417D	416D	4.170,00	420L
		X 34 A/S 1	3755	2A	104,1	200,5	1.708.002	2,21	405E	403E	424E	4.312,33	420E	420E	420D	4.313,33	425A
		X 31 A/V 1	3830	5E E	105,8	210,7	1.787.695	2,18	408E	415E	415E	4.068,00	395E	395E	400D	3.978,00	416E
		X 36 D/S 2	3844	57 E	105,8	210,2	1.738.784	2,20	406E	407E	407E	4.269,67	407E	407E	408E	4.240,67	444F
		X 28 A/V	3843	2E E	105,8	214	1.768.174	2,15	387E	390E	391I	3.923,00	386E	387E	394E	3.962,33	416E

Fig. 6. Foglio elettronico

I dati così calcolati sono stati importati su un Banca dati relazionale dove la chiave primaria è la sigla del campione che risulta essere univoca.

La banca dati relazionale è stata utilizzata per la stesura dei dati relativi alle microcarote dove risultava problematico l'inserimento dei 5 provini cilindrici estratti da ogni microcarota.

Piano	Strumento	Frequenza	Orientamento	Rotazione	Velocità	Velocità media	Distanza	Media campo	Media lab	Diff. (campo)	Media lab	Media lab
27	AVS	27	A	S1	389,4	38,4	11,4	318,2	377,472	3448	3448	3772
27	AVS	27	A	S1	3735	10,0	104	305,9	745,087	2101,974	3720	3750
27	AVS	27	A	S2	3253,5	17,9	104,7	314,7	759,147	2149,22	3677	3707
27	AVS	27	A	S1	3211,9	20,2	104,7	301,9	710,054	2174,736	3045	3030
27	AVS	27	A	S1	3817	25,3	104,3	315,7	757,434	2167,36	4178	4170
27	AVS	27	A	S1	3024	27,3	104	311,2	708,177	2117,070	4110	3659
27	AVS	27	A	S1	3733	28,3	104	308,0	774,532	2139,46	3821	3778
27	AVS	27	A	S2	349,3	33,7	104	318,2	777,773	2138,44	4134	4118
27	AVS	27	A	S1	385	36,7	104,7	312,4	807,795	2130,23	3837	3357
27	AVS	27	A	S2	389,4	36,7	104,3	311,9	778,077	2131,146	3618	3647
27	AVS	27	A	S2	3750	20,7	104,4	305	765,104	2126,030	3892	3055
27	AVS	27	A	S1	3747	23,5	104	306,3	755,496	2134,7	3936	3790
27	AVS	27	A	S2	3004	26,9	104	310,9	714,500	2140,026	3050	3052
27	AVS	27	A	S2	3817	32,4	104	309	766,036	2160,236	3072	4134
27	AVS	27	A	S1	3625	26,9	102,9	308,5	764,153	2137,736	4163	3976
27	AVS	27	A	S2	3733	28,3	103,3	305,3	744,887	2165,452	4159	4000
27	AVS	27	A	S1	3446	34,4	104,3	314,7	777,472	2139,462	3446	3444
27	AVS	27	A	S2	3715	26,7	103,0	302,2	711,056	2171,157	3731	3052
27	AVS	27	A	S1	3773	29,9	104	306,3	757,434	2146,334	4138	3938
27	AVS	27	A	S1	3700	33,2	103,9	307,7	736,557	2177,37	3900	3950
27	AVS	27	A	S2	3773	29	104,7	306,4	756,778	2161,795	3772	3779
27	AVS	27	A	S1	3827	30,4	104,2	308,4	777,76	2161,072	3953	3946
27	AVS	27	A	S1	3743	28,7	104	301,3	715,539	2166,525	4121	3348
27	AVS	27	A	S1	3404	32,9	104	306,6	756,044	2144,446	4273	4162
27	AVS	27	A	S1	3915	20,0	104	307,4	761,038	2222,139	3900	3970
27	AVS	27	A	S2	3947	24,3	104	309,5	776,679	2214,445	4077	3938
27	AVS	27	A	S1	3904	29,9	104	307,9	766,037	2210,037	4255	4005
27	AVS	27	A	S2	3745	29,3	103	308,5	765,033	2064,298	4107	3990
27	AVS	27	A	S2	3775	27,9	104	300,9	772,000	2110,127	3659	3651
27	AVS	27	A	S2	3711	23,7	103,3	305,7	736,636	2136,157	3936	3340

Fig. 7. Foglio elettronico

## Risultati

Le misure effettuate con tre strumenti diversi ha evidenziato discostamenti medi di circa 100 m/sec. La misura in campo ed in laboratorio effettuata con lo stesso strumento su piani diversi ha mostrato un andamento simile. Operatore diversi incidono nella misura ultrasonora con un errore di circa 50 m/sec fino ad un massimo di 150 m/Sec. Il liquido non influenza la misura in modo sostanziale.

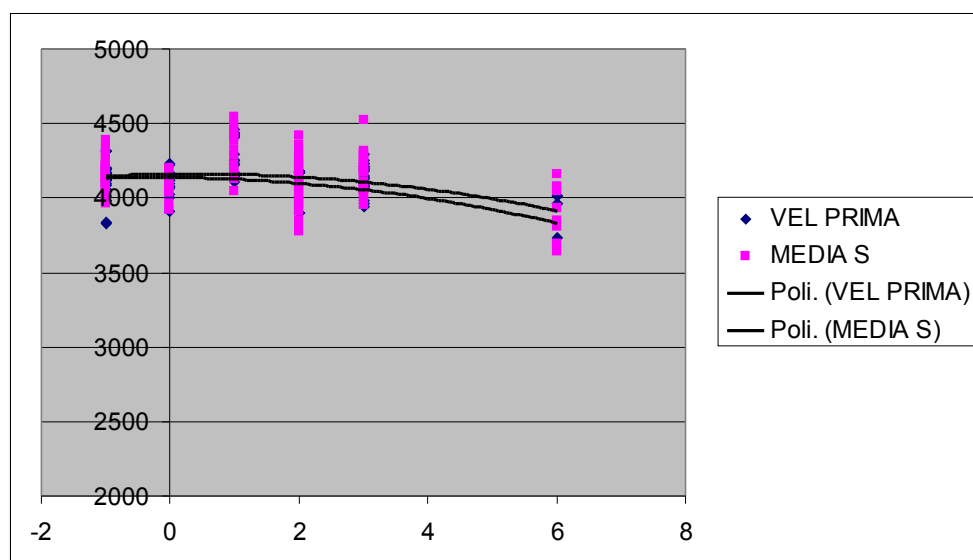


Grafico 1. Correlazione tra le misure ultrasonore in situ ed in laboratorio in funzione dei piani dell'edificio

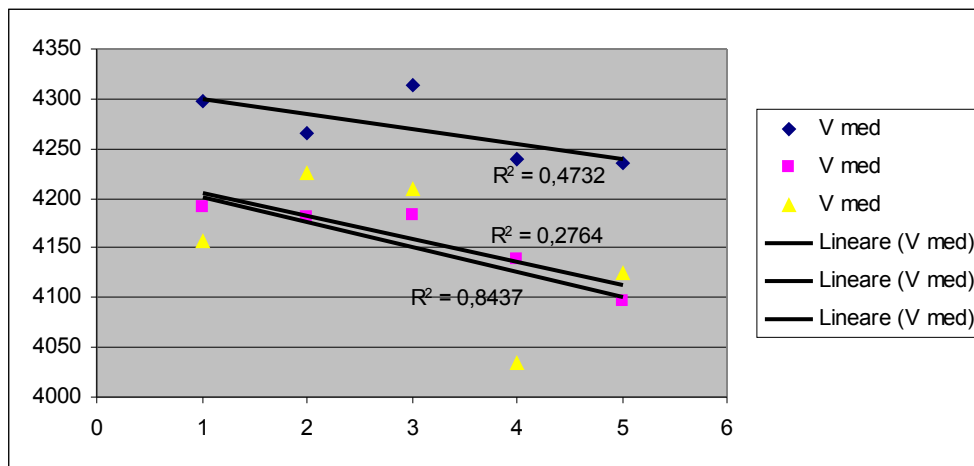


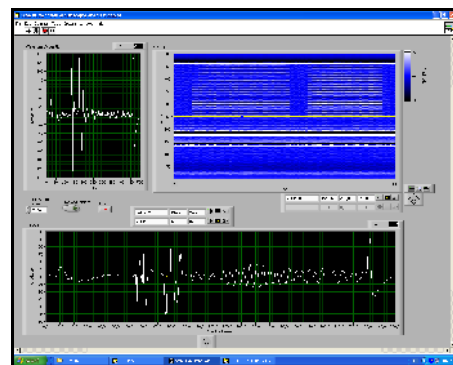
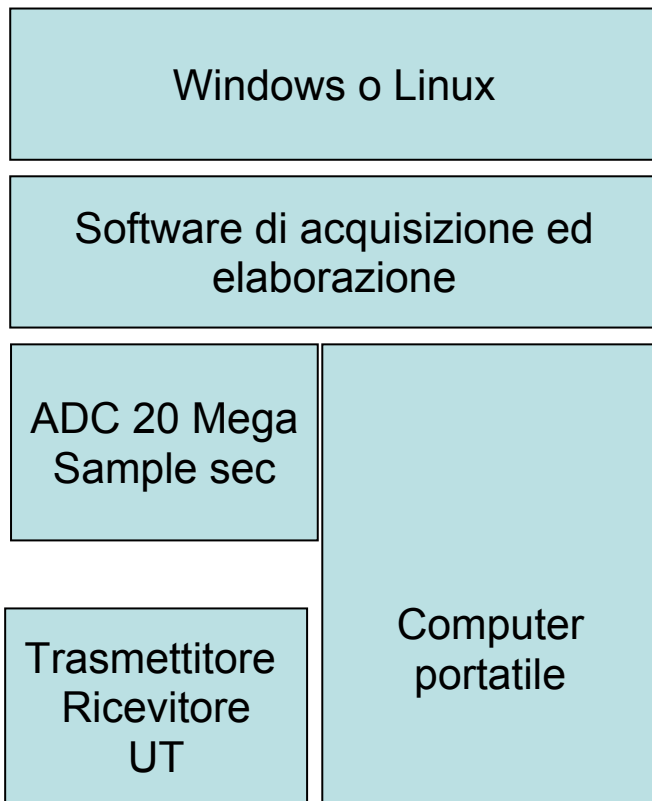
Grafico 2. Confronto tra le misure ultrasonore effettuate sullo stesso campione ma da 5 operatori diversi

STRUMENTI			
Numerico	Interfaccia dos	Interfaccia con pulsanti	Palmare
Impostazioni fisse	accensione lenta e difficile lo scambio dei dati A-SCAN	difficile l'impostazione e sono necessarie 2 persone per la misura Difficile scambio dati con RS232	possibilità di perdita dei dati Dovuta all'esaurimento delle batterie del palmare

Tabelle 1. Punti di debolezza degli strumenti UT

E' stato sviluppato un software per migliorare l'inserimento, la lettura e la memorizzazione dei dati basto su sistema operativo Windows XP dove è possibile trasferire dati ed immagine direttamente su applicativi windows come per esempio MATLAB, EXCEL o altri programmi di elaborazione senza cavi e complicate procedure di connessione.

Il software utilizza una scheda PCMCIA inserita nel computer portatile che acquisisce il segnale fino a 20 MSsec. Il segnale viene analizzato e viene misurato il tempo di propagazione corrispondente all'istante in cui il segnale supera una soglia in ampiezza. Il tempo di propagazione è mostrato tramite un cursore verticale, questo aiuta l'utente a interpretare il segnale ultrasonoro.



Schema 1. Configurazione hardware strumento basato su PC portatile

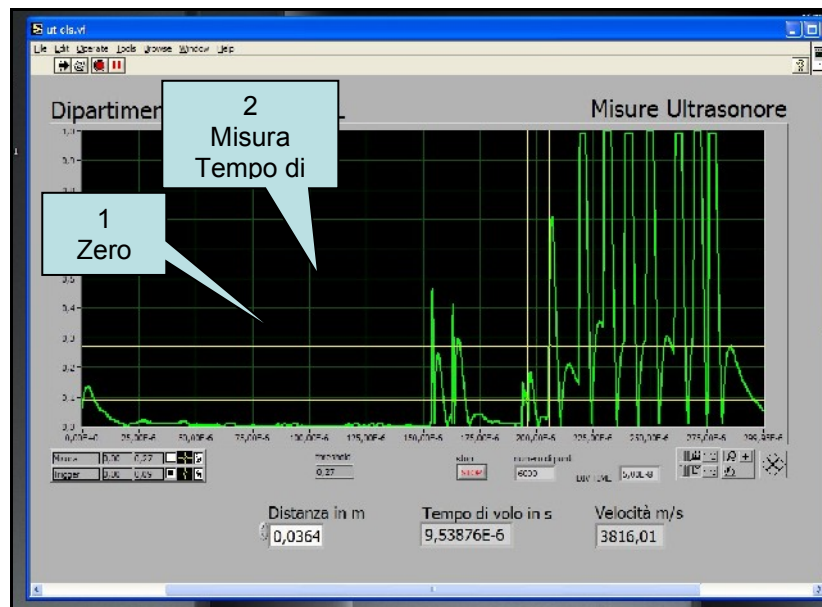


Fig. 8 Software di acquisizione dati ENEA



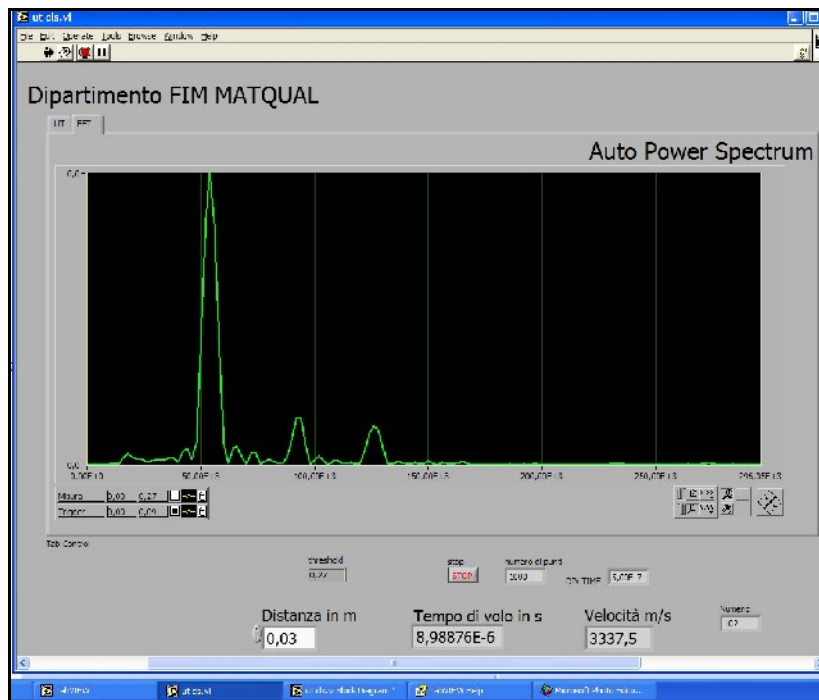


Fig. 9 Software di analisi dati ENEA

## Conclusioni

E' stata creata una grande banca dati dove sono raccolti tutti i dati sperimentali utile per la stesura di un piano d'indagine su edifici in CLS.

Per una corretta campagna di misura oltre alla scelta dello strumento, delle sonde e del mezzo accoppiante è importante :

- La certificazione acquisita con il corso di addestramento
- L' esperienza maturata con il lavoro

Attraverso il confronto degli strumenti ultrasonori è stato sviluppato un software dedicato che analizza il segnale nel dominio del tempo ( tempo di percorrenza) e nel dominio della frequenza ( frequenze caratteristiche del CLS).

La possibilità di utilizzare sonde non a contatto per eliminare la pressione esercitata dell'operatore durante la misura.

La possibilità di monitorare in tempo reale la velocità ultrasonora di un elemento in CLS evidenziando sollecitazioni o carichi diversi dal tempo scelto come riferimento.

E' stato sviluppato un software per il controllo sonoro delle murature e dei solai.