

ACUSTICA EDILIZIA SCOLASTICA: QUADRO NORMATIVO DAGLI ANNI '60 AD OGGI E COERENZA CON LE MISURE IN OPERA

Roberto Ricci (1), Patrizio Caroli (2)

- 1) T.C.A.A. - T.A.E. n. 22 Sacert - Acustica & Ambiente Studio Tecnico, Cesena (FC)
- 2) Tecnico Competente in Acustica Ambientale (T.C.A.A.), Forlì (FC)

1. Acustica per edilizia scolastica

L'architettura è l'arte di dare forma e realizzare spazi fruibili per le necessità dell'uomo. Partendo da questo presupposto la progettazione architettonica e il costruire edile devono essere incardinati nell'assunto che *"le cose sono create dall'uomo per servirlo e quindi debbono essere dimensionate in rapporto a lui"*[1]. I soggetti coinvolti nell'arte del costruire devono acquisire il concetto esatto di grandezza e proporzione di ciò che si progetta e si costruisce; a tal proposito è necessario quindi, ad ogni segno e ad ogni misura, aver presente che l'unica e giusta misura-base è l'uomo evitando così di realizzare rapporti qualsiasi e casuali. La sostenibilità in generale e quindi anche in architettura è la caratteristica di un processo/stato che può essere mantenuto ad un certo livello indefinitamente; in edilizia è il tempo del ciclo di vita di un sistema costruttivo e del manufatto nel suo complesso (50 anni ...) che non deve perturbare l'ambiente in cui si concretizza sia esso esterno che interno ad un edificio, pertanto la sua efficacia è misurabile attraverso i *cinque sensi dell'uomo, la vista, l'olfatto, il gusto, il tatto e l'udito "strumenti"* che l'uomo possiede per giudicare il *comfort/discomfort* in quanto anche un buon progetto di architettura se mal realizzato determina comunque nell'uomo un giudizio negativo (campo edilizio il risultato di realizzazione dell'opera).

Le esigenze e i requisiti per l'acustica applicata all'edilizia scolastica sono ben rappresentate nella figura 1 di seguito riportata dove sono rappresentate le tipiche sorgenti di rumore all'interno e all'esterno dell'edificio scolastico in relazione ai requisiti di benessere acustico quali l'intelligibilità del parlato (rapporto segnale/rumore e sforzo vocale dell'insegnante e per l'apprendimento in tutti i suoi aspetti, normodotati, ipoacusici, alunni D.S.A. Disturbi Specifici dell'Apprendimento, alunni B.E.S. Bisogni Educativi Speciali, non madrelingua, ecc ...); le richieste normative rappresentano quindi le prestazioni che sono state dimensionate per favorire un adeguato processo di insegnamento-apprendimento in un *"learning environment"* adeguato (in generale unità pedagogica - aula). Il sistema *"sorgente-mezzo di propagazione-recettore (ascoltatore)"* in relazione all'obiettivo di progetto determina i diversi campi di applicazione dell'acustica introdu-

cendo il concetto di pre-requisito quale condizione al contorno per la descrizione del sistema acustico che si vuole indagare.

CIRCOLARE MINISTERIALE N. 1769 DEL 30 APRILE 1966
"Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie"
 Ministero dei Lavori Pubblici - Presidenza del Consiglio Superiore - Servizio Tecnico Centrale
PARTE I NORME GENERALI
 Le grandezze da misurare possono essere le seguenti:
 a) Isolamento acustico per via aerea di pareti divisorie interne e fra determinati ambienti.
 b) Isolamento acustico per via aerea di solai.
 c) Isolamento acustico per via aerea di pareti esterne.
 d) Livello di rumore di calpestio di solai.
 e) Rumorosità provocata da servizi e da impianti fissi.
 f) Rumorosità provocata da agenti atmosferici.
 g) Coefficiente di assorbimento acustico.
 h) Tempo di riverberazione.

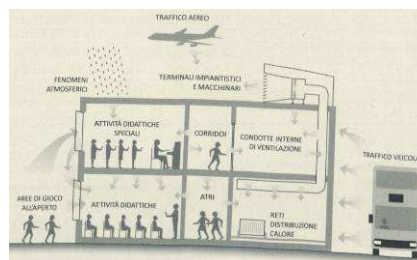


Figura 1 - Fonti di rumore caratteristiche edificio scolastico C.M.LL.PP. N. 1769 del 30/04/1966 [2] (rielaborazione grafica Department for Education and Skill, U.K.) [3]

Le prestazioni acustiche (rumore e vibrazioni) di un plesso scolastico sono quindi definite come quell'insieme di proprietà che identificano l'attitudine di un organismo edilizio a svolgere correttamente le sue diverse funzioni e costituiscono la risposta tecnica alle esigenze degli utilizzatori.

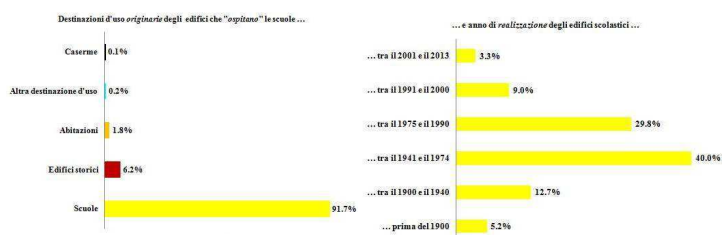
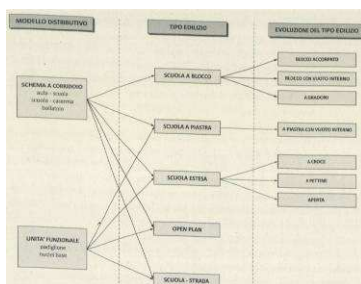


Figura 2 - Schema dei modelli distributivi e dei relativi tipi edilizi generati [4] dallo sviluppo pedagogico che ha condizionato l'approccio prescrittivo consolidato - Edifici propri e impropri, XV Rapporto Legambiente.

Nell'ambito del convegno "Quando lo spazio insegna" del 16 maggio 2012 si sono presentati i risultati di un'approfondita ricognizione internazionale, che sono poi divenuti i principi ispiratori nella ricerca di soluzioni operative che consentano la rigenerazione del patrimonio scolastico intrapresa dal M.I.U.R. che ha stilato le nuove "Linee guida per le architetture interne delle scuole"; tra gli obiettivi di fondo garantire edifici scolastici, sicuri, sostenibili, accoglienti e adeguati alle più recenti concezioni della didattica, sostenute dal percorso di innovazione metodologica intrapreso grazie alla progressiva diffusione della I.C.T. (Information and Communications Technology) nella pratica educativa rinnovando i criteri per la progettazione dello spazio e delle dotazioni per la scuola del nuovo millennio, discostandosi dallo stile prescrittivo (di capitolato) delle precedenti risalenti al *D.M. 18 dicembre 1975 - "Norme tecniche aggiornate relative alla edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica"*;

Se la scuola cambia e si rinnova, allora devono cambiare anche gli edifici e gli spazi educativi, secondo nuovi criteri per la costruzione degli edifici scolastici, e uno sguardo al futuro deve prendere in considerazione i nuovi spazi di apprendimento coerenti con le innovazioni determinate dalle tecnologie digitali e dalle evoluzioni della didattica (me-

totologia e specificità dei percorsi di apprendimento, di esperienze innovative, modalità d'uso degli spazi e dei tempi e comportamenti, attività comunicative e interattive consultazione in gruppi piccoli e medi quali, *active learning*, *lezione diffusa e non frontale*, *classe scomposta*, *didattica per competenze ecc ...*).

Per quanto non specificato si rimanda alla memoria dal titolo "*Critiche e osservazioni non pertinenti al d.P.C.M 05/12/1997*"[5].

2. Il nuovo polo scolastico di Villamarina di Cesenatico (FC)

Il nuovo polo scolastico "*Infant center and primary school*" è stato progettato (2010/2011) dall'Arch. Troisi M.T.A. Associati, Studio Laila Filippi, MCZERO, TECHNO e realizzato dall'impresa C.M.C. di Ravenna; ha visto lo svilupparsi del progetto nel periodo di definizione delle nuove "*Linee guida del M.I.U.R per le architetture interne delle scuole*" e alle prescrizioni/prestazioni emerse nel novembre 2011 in sede di "*II Conferenza di servizio*" dove sono state confermate le richieste prescrittive dei decreti vigenti [6] ("aule" e "palestra") e le richieste prestazionali per il tempo di riverbero di altri locali conformemente alla normativa/legislazione vigente quali in particolare "mensa", "atrio" e "spazio attività comuni" non disciplinati completamente nel D.M. 18/12/1975[7].

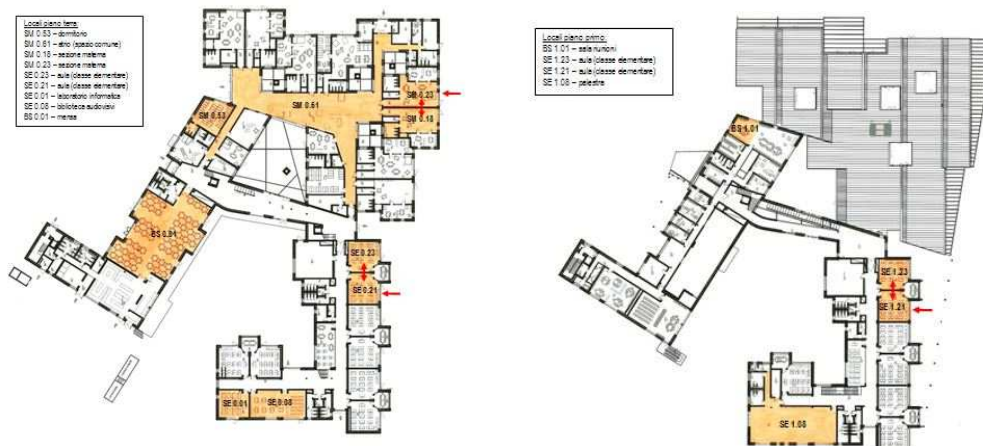


Figura 3 - Polo scolastico di Villamarina di Cesenatico (FC), scuola dell'infanzia, primaria e micronido.

3. L'esperienza di collaudo e la coerenza della normativa vigente con le misure in opera

L'analisi tecnico/normativa in riferimento all'acustica edilizia applicata all'architettura evidenzia che il progetto del plesso scolastico (scuola dell'infanzia, quella primaria e il micronido) di Villamarina di Cesenatico rappresenta perfettamente l'anello di congiunzione tra l'avvento dell'approccio prestazionale, in quanto nel progetto esecutivo si riconoscono le principali richieste del documento varato in Conferenza Unificata dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (M.I.U.R.) "*Nuove linee guida per l'edilizia scolastica*" dando particolare rilievo al concetto di scuola come tessuto ambientale che per l'apprendimento prevede una naturale fluidificazione delle categorie degli spazi e la tradizione prescrittiva in quanto nella realizzazione di cantiere

sono state seguite le valutazioni progettuali che in sede di misure in opera a campione, a fine lavori, hanno determinato la conformità alle prescrizioni di legge e a quelle individuate dagli Enti in particolare A.U.S.L. e A.R.P.A..

4. Catene di acquisizione e strumentazione

Le catene di acquisizione e strumentazione si sono distinte in "ufficiale" e "alternativa"; l'ufficiale si compone del fonometro/analizzatore portatile Nor140 con sistema Nor 1516 wireless bluetooth Nor520 per acustica edilizia, amplificatore di potenza Nor 280 e dodecaedro Nor 270, net-book acer aspire one e software di acquisizione ed elaborazione Nor1020 NorXfer, Nor1026 NorReview, Nor1028 NorBuild, Nor1028/3 CtrlBuild con segnale SweptSine measurement.

Parallelamente alle misure ufficiali si è voluto cogliere l'occasione anche per effettuare misurazioni comparative dei tempi di riverberazione in accordo con le norme UNI EN ISO 3382-2 2008/ISO 18233 mediante due catene di acquisizione "alternativa" distinte per qualità e costo.

La prima catena di acquisizione "alternativa", di minor costo e qualità, consisteva in un microfono Behringer ECM 8000, scheda audio SHURE X2u con rotella del guadagno opportunamente regolata e bloccata collegato ad un notebook "Hp pavillon G series", software Adobe Audition 3 in modalità multitraccia da cui veniva generata anche la sequenza del segnale di test da inviare al dodecaedro con il metodo della risposta all'impulso mediante tecnica dell'Exponential Sine Sweep per una durata di 12 s, in un campo di frequenza compreso tra 50Hz e 8000Hz ripetuto per 2 volte e intervallato da 10 secondi di silenzio.

La seconda catena di acquisizione "alternativa" era costituita da un registratore Zoom H4N su scheda SD in modalità "4ch", coppia di microfoni di qualità Earthworks M23 "matched" collegati ai due rispettivi ingressi XLR disponibili, ingresso jack del microfono esterno riservato al "loop back" collegato ad una seconda estremità del cavo in uscita dal PC diretto all'amplificatore del dodecaedro.

5. Gli ambienti oggetto del collaudo e risultati delle misurazioni

Gli ambienti collaudati, oggetto della presente memoria, sono stati la mensa di 1680 m³ caratterizzata da un soffitto sagomato ad altezza variabile, la palestra di 1060 m³ con disimpegno "aperto" per l'accesso ai servizi e spogliatoi, infine l'aula "SE 1.21" di 170 m³.



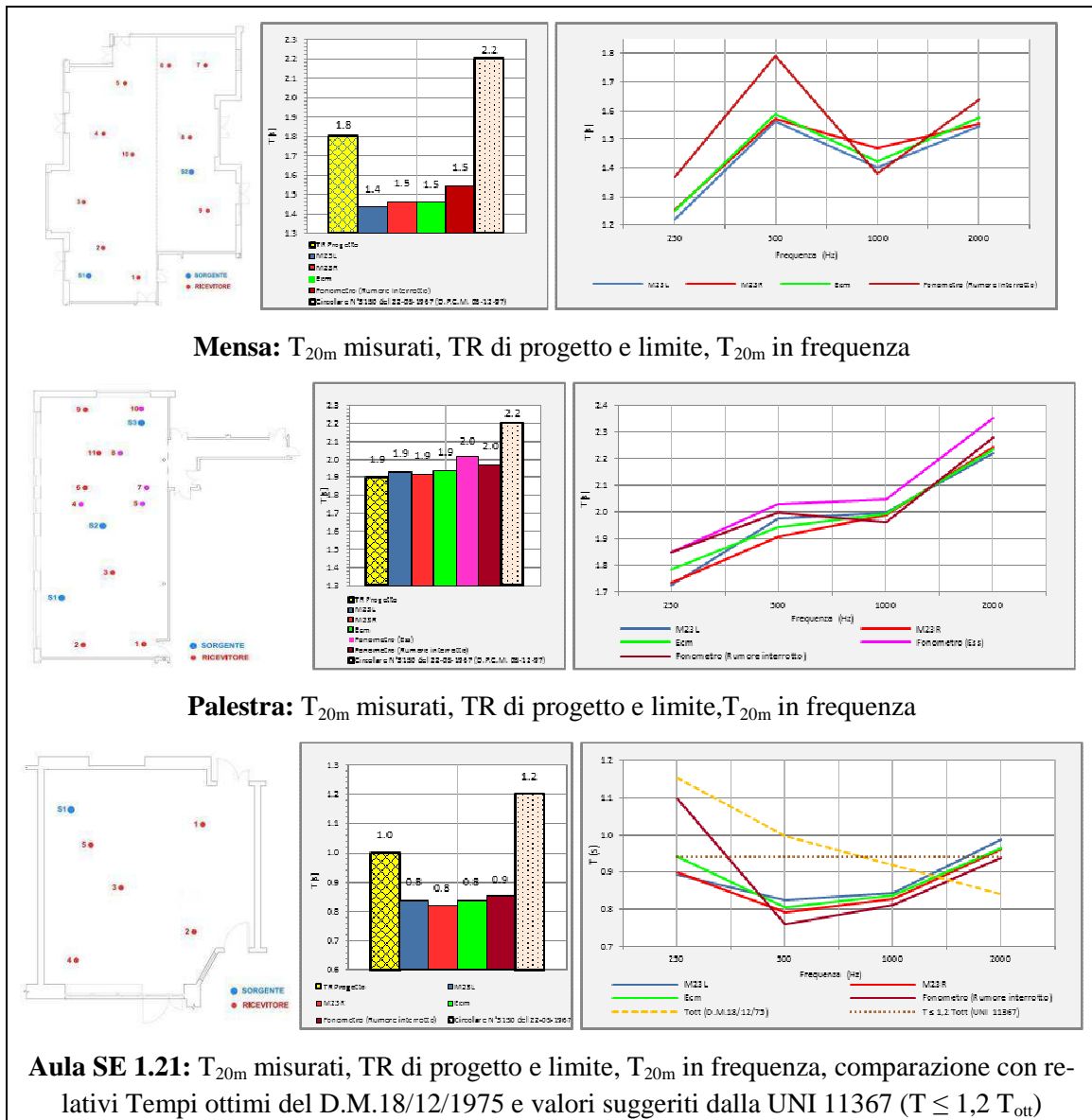
Figura 3 – Foto dei locali mensa, palestra e aula SE 1.21

Con la strumentazione "alternativa" l'intento era quello di poter ruotare i tre microfoni in tutte le postazioni riceventi predeterminate, ma compatibilmente col tempo disponibile e alla situazione del momento questo non è sempre stato possibile anche per non rallentare eccessivamente l'esecuzione delle misure ufficiali che avvenivano in se-

quenza. Tutte le misurazioni si sono svolte ad ambienti arredati e con la sola presenza dei due operatori che hanno eseguito le misure. Nel dettaglio i punti sorgente-riceventi sono stati, per la mensa una sola posizione sorgente e 9 posizioni riceventi delle 10 predeterminate (totale di 18 misure per microfono e 54 complessive), la palestra con tre posizioni sorgente e 6 posizioni riceventi (totale di 20 misure per microfono e 60 complessive), infine l'aula "SE 1.21" con una sola posizione sorgente e 4 posizioni riceventi (totale 12 misure).

Nelle tabella 1 seguenti sono riportate le planimetrie dei tre ambienti, i risultati dei T_{20} medi misurati, (per motivi di sintesi il T_{30} non è indicato) il confronto con TR di progetto e TR limite e per l'aula sono stati comparati sia con i relativi tempi ottimi del D.M.18/12/1975 che con i valori suggeriti dalla UNI 11367 ($T \leq 1,2 T_{ott}$) nelle bande di ottave comprese tra 250Hz e 2000Hz, diversamente nella palestra si è ritenuto non opportuno confrontare quest'ultimo valore suggerito dalla UNI 11367 in quanto il volume è inferiore ai 2000 m³.

Tabella 1 - Planimetrie locali e risultati di misura



6. Osservazioni alle misure

I valori medi misurati del T_{20} e del T_{30} , nei tre ambienti analizzati, rispettano sia i valori di progetto che quelli limite. L'intento iniziale del confronto dei risultati delle diverse catene di acquisizione, distinte volutamente anche per modalità e durata di esecuzione, è stato soddisfatto, in quanto si è riscontrata la convergenza dei valori medi misurati anche per la particolare ed estemporanea accoppiata di acquisizione “ECM 8000-SHURE X2u” che potenzialmente poteva mostrare maggiori criticità (riscontrate invece nella misurazione di alcuni altri parametri quali per esempio il rumore di fondo).

Nella mensa e palestra si ha motivo di ritenere che i tempi di riverberazione nella banda di ottava dei 250Hz, marcatamente più bassi, possano essere giustificati dalla presenza di sistemi costruttivi a secco utilizzati nella costruzione del plesso scolastico. Inoltre nella palestra risulta più evidente nella banda d'ottava dei 125Hz e nei singoli punti sorgente-ricevente dove la presenza del disimpegno “aperto” per i servizi e spogliatoi ha in qualche modo ulteriormente influito fungendo presumibilmente da “assorbitore”.

7. Stima del tempo di riverberazione ad aula occupata

L'aula SE 1.21 è inserita nel corpo di fabbrica scuola elementare e al momento della misurazione l'arredamento era composto dalla cattedra, 17 banchi con sedie e 2 armadietti ai lati di un vano libreria parzialmente vuoto. Per la stima del tempo di riverberazione nella condizione aula occupata, i valori di assorbimento acustico sono dedotti dai dati di letteratura e sono stati sommati alle rispettive aree di assorbimento acustico equivalente derivate dai TR misurati mediante la formula di Sabine e utilizzata successivamente per il calcolo nella condizione di aula occupata.

Nella figura 4 sono riportate le stime del T_{60} (TR) sia nella condizione di occupazione presunta sopra descritta, che nell'ipotesi di presenza con 25 bambini e conseguente aggiunta di 8 tavoli e sedie “occupate”. I valori ottenuti sono stati comparati con valori ottimali ad ambiente occupato e con la fascia di tolleranza secondo la DIN 18041 per il parlato dove $TR = T_{soll} \pm 20\%$ (limite inferiore e superiore).

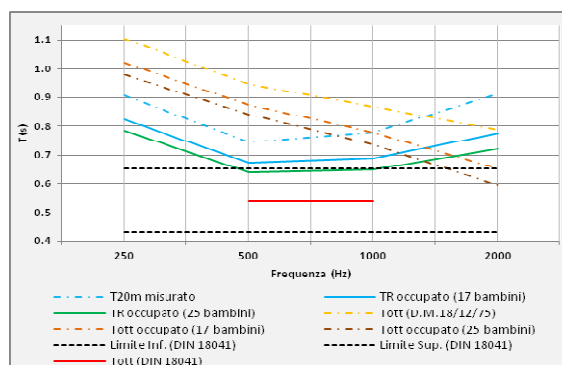


Figura 4 – T_{20m} misurato, stime dei TR aula occupata con 17 e 25 bambini e rispettivi T_{ott} e TR limite (T_{ott} DIN 18041 = T_{soll})

8. Conclusioni: valore limite prescrittivo del tempo di riverberazione e valori ottimali prestazionali

La nuova logica prestazionale rende i criteri di progettazione più agevolmente adattabili alle esigenze didattiche e organizzative di una scuola in continuo mutamento, vengono dunque riconfigurate le architetture interne, proponendo una convenzione dello spazio differente da un modello di organizzazione della didattica rimasto ancorato alla centralità della lezione frontale; le nuove linee guida propongono invece spazi modulari facilmente configurabili e in grado di rispondere a contesti educativi sempre diversi ambienti plastici (liquidi) e flessibili funzionali (resilienti) ai sistemi di insegnamento e apprendimento più avanzati, infatti cambiano le metodologie della didattica superando l'impostazione frontale e quindi anche la realizzazione degli edifici scolastici dovrà rispondere a parametri e criteri architettonici e dell'organizzazione dello spazio del tutto nuovi.

Riguardo ai “Criteri di valutazione dei requisiti acustici dell’edilizia scolastica” il D.M. 18/12/1975 richiama la Parte 1 della C.M.LL.PP. n. 1769 del 30/04/1966 dove, in particolare, il tempo di riverberazione viene considerato come “*possibile*” grandezza da misurare ma solo “*in caso di riconosciuta utilità*”; bisogna attendere l’emanazione della ben nota C.M.LL.PP. n. 3150 del 22/05/1967 specifica per gli edifici scolastici affinché il legislatore renda cogente i valori prescrittivi rispettivamente per le aule di 1,2 sec e per le palestre di 2,2 sec, qualora non debbano essere utilizzate come auditorio (eventuali aule per musica e spettacolo devono adeguarsi, per quanto riguarda il trattamento acustico, alle norme generali per le sale di spettacolo, cioè ai valori ottimali). Le ragioni della scelta “*tecnica*” di tali limiti, all’origine della stesura della circolare ministeriale, possono portare sia a diverse interpretazioni che a valutazioni soggettive; pertanto può essere lecito pensare che all’epoca tale scelta sia stata vincolata per soddisfare tutte le casistiche possibili (es. d.P.R. 01/12/1956 n.1688) che si potessero presentare anche negli interventi di recupero in particolare per le opere di correzione acustica necessarie nelle riqualificazioni di edifici nati con destinazione non scolastico (es. ex-caserme, vedi figura 2), di uno stato pre-esistente non trascurabile e sicuramente variegato ed eterogeneo dove soprattutto nel dopoguerra la priorità era la scolarizzazione di base capillare su tutto il territorio nazionale. Tale valutazione giustifica la scelta del legislatore di richiamare nel d.P.C.M 05/12/1997 i soli e unici limiti del tempo di riverberazione presenti nella normativa esistente, C.M.LL.PP n. 3150 del 22/05/1967, anziché valori ottimali dei tempi di riverberazione del D.M. 18/12/75 dove i termini “ottimo e ottimale” intesi come prestazionali fanno la loro prima comparsa come conseguenza naturale dei requisiti di accettabilità richiesti nella esecuzione di opere edilizie dopo l’entrata in vigore del decreto stesso.

L’esperienza di collaudo del Polo scolastico di Villamarina di Cesenatico (FC), scuola dell’infanzia, primaria e micronido progettato e costruito secondo la legislazione esistente e le *nuove Linee Guida M.I.U.R.* [8] (presenza interclasse, atrio, ecc ...) testimoniano la coerenza con le normative precedentemente descritte e nuovamente richiamate nella UNI 11532:2014 “*Acustica in edilizia. Caratteristiche acustiche interne degli ambienti confinati*” in quanto i valori ottenuti in opera, in particolare per il TR, risultano soddisfatti; in particolare per la R.T.V. regola tecnica verticale prestazionale di capitolato D.M. 18/12/1975 in realtà si assiste ad un lieve superamento nell’intorno della banda di ottava dei 2000 Hz nelle condizioni di collaudo mentre la R.T.O. regola tecnica orizzontale prescrittiva d.P.C.M. 05/12/1997 è ampiamente soddisfatta.

Questa esperienza porta a concludere che la richiesta di 1,2 sec della C.M.LL.PP. n. 3150 del 1967 è adeguata anche per le nuove esigenze progettuali tenendo presente che per le situazioni pedagogiche di nuova didattica (aula scomposta, lezione diffusa, didattica per competenze, ecc ...) e di particolari categorie di alunni (B.E.S., D.S.A., non ma-

drelingua, ipoacusici, ecc ...) è sempre necessario introdurre in capitolato d'appalto le valutazioni derivanti da normativa tecnica, dati di letteratura di esperienze specifiche e R.T.V. nazionali ed internazionali; questa memoria per motivi di brevità si è concentrata sul parametro TR che assieme al C_{50} e S.T.I., a parere degli autori, risulteranno più condizionati dalla nuova gestione degli spazi interni senza un adeguato confronto tra progettisti, in quanto la sempre meno utilizzata lezione frontale a favore della dinamicità degli spazi e dei loro utilizzatori cambierà sempre più il rapporto parlatore-ascoltatore, insegnante-alunno, molto spesso con relazioni di prossimità e quindi con elevata intelligibilità del messaggio vocale, altre volte invece la formazione di gruppi di lavoro potranno peggiorare la relazione insegnante-alunno; questa dinamicità anche degli spazi attraverso pareti mobili contribuiranno ad una variabilità degli ambienti che influiranno sui sistemi impiantistici, sulla risposta acustica che la composizione dei vari volumi determineranno e quindi all'interno dello stesso plesso scolastico si dovranno affrontare diverse configurazioni determinate appunto dalle geometrie delle unità pedagogiche e dagli utenti degli spazi per l'insegnamento.

9. Bibliografia

- [1] Ernst Neufert «Bauentwurfslehre» settima edizione italiana - 1988 - Enciclopedia pratica per progettare e costruire – norme e prescrizioni per progettare, costruire, dimensionare, distribuire.
- [2] Ministero dei Lavori Pubblici - Presidenza del Consiglio Superiore - Servizio Tecnico Centrale. Circolare Ministeriale N. 1769 del 30 aprile 1966: "*Criteria di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie*".
- [3] Paola Boarin, Edilizia scolastica. riqualificazione energetica e ambientale. metodologie operative, requisiti, strategie ed esempi per gli interventi sul patrimonio esistente - Edicom Edizioni
- [4] Paola Boarin, Edilizia scolastica. riqualificazione energetica e ambientale. metodologie operative, requisiti, strategie ed esempi per gli interventi sul patrimonio esistente - Edicom Edizioni
- [5] Ricci R. "*Critiche e osservazioni non pertinenti al d.P.C.M 05/12/1997*" in atti 42° Convegno Nazionale AIA - Firenze, 16-17 Luglio 2015.
- [6] Ministero dei Lavori Pubblici - Presidenza del Consiglio Superiore - Servizio Tecnico Centrale. Circolare Ministeriale N. 3150 del 22 maggio 1967: "*Criteria di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici*". D.P.C.M. 5 dicembre 1997, *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*.
- [7] D.M. 18 dicembre 1975 - "*Norme tecniche aggiornate relative alla edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica*". Con Legge n. 23 del 11 gennaio 1996 il D.M. 18/12/1975. è stato abrogato in previsione di future normative regionali che però non sono mai intervenute. La stessa Legge prevedeva comunque che in assenza di tali normative regionali restino in vigore le indicazioni del D.M. 18/12/1975 da intendersi come indicazioni di buona tecnica.
- [8] Roma, 11 aprile 2013 Ufficio Stampa M.I.U.R.. Scuole più sicure e spazi di apprendimento al passo con l'innovazione digitale. "*Norme tecniche-quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia, anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e risparmio energetico e produzione da fonti energetiche rinnovabili, e didattica indispensabili a garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale*".