Effects of classroom acoustics on the perception of well-being and noise in first grade children

Relatore Arianna Astolfi

Correlatori Giuseppina Emma Puglisi Andrea Prato Tiziana Sacco

Tesi di laurea di Silvia Murgia

Politecnico di Torino Facoltà di Architettura

Tesi di Laurea Magistrale Architettura Costruzione e Città



# Effects of classroom acoustics on the perception of well-being and noise in first grade children

Relatore: Arianna Astolfi

Correlatori: Giuseppina Emma Puglisi Andrea Prato Tiziana Sacco Candidata: Silvia Murgia

# CONTENENTS

Abstract		
01 Introduction <sub>p.10</sub>	<ol> <li>1.1 "Io-Ascolto" project</li> <li>1.2 Mental health, perception of well-being and perception of noise</li> <li>1.3 Learning disorders related to acoustics and perceived well-being</li> <li>1.3.1 Dyslexia</li> </ol>	10 11 12 13
02 Methodology <sub>p.16</sub>	<ul> <li>2.1 Participants <ul> <li>2.1.1 Schools</li> <li>2.1.2 Subjects</li> </ul> </li> <li>2.2 Questionnaires processing <ul> <li>2.2.1 Wellbeing Perception Questionnaire</li> <li>2.2.2 Noise perception questionnaire</li> </ul> </li> <li>2.3 Acoustic characterization of classrooms <ul> <li>2.3.1 Measured acoustic parameters</li> </ul> </li> <li>2.4 Data acquisition: the measuring protocol</li> </ul>	16 16 23 24 24 27 29 29 31
03 Data Collection <sub>p.34</sub>	<ul> <li>3.1 Questionnaires <ul> <li>3.1.1 Well-Being perception questionnaire</li> <li>3.1.2 Noise perception</li> </ul> </li> <li>3.2 Acoustic data <ul> <li>3.3 Statistical methods</li> <li>3.3.1 Statistical indexes</li> </ul> </li> </ul>	34 34 34 35 35
04 Results <sub>p.41</sub>	<ul> <li>4.1 Analysis of acoustic data</li> <li>4.2 Division into groups and exclusion criteria related to measured acoustic parameters</li> <li>4.3 Analysis of questionnaires results</li> <li>4.4 Relationship between objective and subjective data <ul> <li>4.4.1 Rearessions</li> </ul> </li> </ul>	41 48 51 57 57
05 Conclusions		
Bibliography p.68		
Attachements		

p.//

# Abstract

This research is part of the second year of "Io-Ascolto" project supported by the non-profit Fondazione CRT and developed by University of Turin (Departments of Neurosciences and Sciences), by Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM - National Institute for Metrological Research) and Politecnico di Torino (Energy Department), in collaboration with Direzione Didattica "Roberto D'Azeglio". The project aims at improving learning skills by contrasting specific disorders (DSA) such as dyslexia. According to MIUR statistics (Italian Ministry for Education, University and Research) dyslexia affects 2.9% of all students, four times more than six years ago.

The educational program of "enhancing" proposed by the project "lo-Ascolto" goes alongside the one proposed by teachers, and is aimed at strengthening rhythm, memory, reading and skills related to correct language learning because several studies have demonstrated the effect of noise on these specific areas of learning. It involves children aged between **5 and 7 years**.

Children in this age range have such a neuronal plasticity to possibly still remedy even though, paradoxically, diagnosis of dyslexia is made only after the age of 8 years.

It is additionally paramount to involve all children of the class, not only those with noticeable academic difficulties, both to prevent a later development of learning problems, and also not to create in those who already are affected by such difficulties a sense of marginalization and diversity.

The design of built environment has an important influence on the human being, it leads to consequences on **mental and physical health** and on social behaviour. School, as a place of training, learning and development, is therefore an even more delicate environment.

A room with poor acoustics may generate excessive noise and could reduce intelligibility of speech causing difficulties in comprehension and re-elaboration of words; it is evident that this issue is more serious for subjects in their initial stages of the learning path. It has been proved that a child affected by dyslexia, or reading problems, despite being as scientifically demonstrated as smart as other children or even more, may have difficulty assimilating concepts after reading and listening and telling their own thoughts.

Children affected by above-mentioned disorder will need a big effort and a longer time to reach the level of the other schoolmates; it can result in **frustration** and a low level of **self-esteem**. This feeling of failure often has consequences in individuals with dyslexia lives, sometimes causing serious **anxiety disorders**. Frustration in these children can lead to anger while a low self-esteem resulting from a poor self-image can lead to clinical **depression**.

Moreover, children's family can increase discomforts caused by dyslexia. Siblings can be jealous for the extra attention needed by the person affected by the disorder. Also, parents who suffered from dyslexia themselves can provoke an emotional stress in the child for their anxiety for not being able to spare their kid form this trouble.

Another negative scenario for the subjects is caused by cognitive impairment such as, for example, difficulties in memorizing what is read, a problem that can be mistaken for laziness and lead to a confrontation with parents and teachers. These situations generate traumas that result in decreased motivation, low performance and, in the worst case, in early school leaving. It has also been demonstrated that exposure to road traffic noise is related to a range of behavioral problems in 7 years old children<sup>1</sup> of which the most critical are hyperactivity and attention deficit.

Children who have hyperactivity disorder are indeed particularly distracted from background noise<sup>2</sup> so that traffic noise would worsen the clinical situation by increasing the severity of the disorder.

The goal of this research thesis is to examine through the administration of questionnaires on the perception of well-being and noise, developed according to scientific literature, children's subjective impression of themselves and of the environment around them, and to measure the acoustic quality of the classroom where they learn everyday to evaluate any possible connection between subjective and objective measures.

The experimental agenda was organized in phases in which the acoustic data of the 12 classes involved in the project were collected with in situ measurements, and then through the administration of the questionnaires within the teaching hours. All data has been catalogued and individually analyzed to verify in the first place the classroom suitability to its function of spoken word transmission, this analysis led to file classes in two different groups.

It's been possible to analyze all the answers to questionnaires together and then to compare responses from children attending classes in rooms with good acoustical characteristics and responses from children attending classes in rooms with poor acoustics. This method made it possible to evaluate the impact of good acoustics on the perception of oneself and of the surrounding environment. A further investigation has been made by combining acoustic data with answers to questionnaires to understand if any existing correlation could be fixed to improve individual's ability of learning.

as far as the well-being analysis of results is concerned, it highlighted no statistically significant differences in the overall population, while in the subclass of unhappy children there was less well-being between those in good acoustic conditions. Please note that happy and **unhappy children** were discriminated based on a specific question on the self-perception of happiness that is widely used in scientific studies.

Another noteworthy fact is that **serenity perception** showed a correlation with increase in noise level during classroom activities. For the group of **happy children** there has been a significant disturbance caused by internal noise, especially in poor acoustic conditions.

**Unhappy children**, on the other hand, have been shown to be more annoyed in good acoustic condi-

tions. Relationships between objective and subjective parameters showed above all that **noise disturban**ce during silence increased as the **speech intelligibility** decreased.

# INTRODUCTION

1. Introduction

# 1.1 "Io-Ascolto" project

The "lo-Ascolto" project is supported by the non-profit Fondazione CRT and developed by the University of Turin (Departments of Neuroscience and Science), the National Metrology Research Institute (INRiM) and the Polytechnic of Turin (Energy Department), in collaboration with the Roberto D'Azeglio Didactic Department. The school year 2015 - 2016 was financed for a pilot study in which the project was started in the Roberto D'Azeglio primary school classes.

In the school year 2016-2017, the project was extended involving **12 first grade classes** and 5 childhood classes belonging to the D'Azeglio, Manzoni, Ricasoli and Regio Parco comprehensive schools, all in Torino, investigating children between 5 and 7 years of age.

The project, structured on a scientific basis in order to be calibrated to the age of the subjects, aims to improve learning skills against specific disorders (DSA) such as, for example, dyslexia Submitting a programme of enhancement that complements that proposed by the school. The project is aimed at children under 8 years of age, as it is proved that below this age range the human brain is more receptive and especially the auditory cortex has its maximum neuroplasticity.

The "enhancement" was submitted to the children through a software developed by the research team composed of figures from the Department of Neuroscience of the University of Turin, the Department of Energy of the Politecnico di Torino and INRiM. It corresponds to a real didactic program that is accompanied by the traditional one carried out by teachers. It aims to reinforce and consolidate some of the key skills for the learning process with exercises that include reading, hearing and visual discrimination, memory development and rhythm ability. The program is open to all students so as not to isolate those who already have difficulties and to prevent their training in the future. In fact, the program, whose purpose is to enhance neural abilities, aims not only to help children with fragility but to stimulate and improve the skills of all, thus decreasing the level of frustration and anxiety. The 12 classes were divided into two groups of 6 according to the administration of the auditory-phonological enhancement program because, for research purposes, it was indispensable to have a control mechanism.

The division of the sample was carried out after the initial phase of the project, in which all children were subjected to cognitive tests, in order to create two homogeneous groups whose cognitive abilities were not yet conditioned by the literacy process.

After the division into the two groups, 15 episodes with a duration of about one hour each were developed and submitted on a weekly basis from February 2017. The strengthening was concluded with the final cognitive tests with which the effect of the programme could be evaluated.

The Polytechnic of Turin supports this project through the study of **classroom acoustics**, which contributes to improving learning skills. Two thesis papers have already obtained their first results:

The thesis "*Effects of schoolroom acoustics on cogniti*ve abilities in first grade children", 2017, (Paonessa et al.)<sup>3</sup>, following the acoustics measurements in the field and the cataloguing of the results of the cognitive tests that the children underwent, found a correlation between acoustics and cognitive abilities: in a sub-optimal acoustics the children presented repercussions especially on auditory memory.

The data are confirmed in the thesis "Acoustics in classrooms and cognitive abilities: a longitudinal study on first grade children", 2017 (Minelli et al.)<sup>4</sup> in which the data also showed a correlation with regard to segmentation, short-term memory, rhymes and hearing attention. In addition, the thesis shows that the contribution of the enhancement is especially evident in the ability to hearing discrimination and, in conjunction with good acoustics, in tests on rhymes. This is a testament to the best effect of the enhancement when there is good acoustics.

Since 2016-2017, two questionnaires, subject of this thesis, on well-being and noise have been administered to evaluate the **perception** of children on these issues.

# 1.2 Mental health, perception of wellbeing and perception of noise

This research on perceptions of first grade children at school is strongly based on literature. It's been fundamental to get Scientific studies about mental health and perception of two fundamental aspects that characterise the way in which we interact with the everyday living environment such as schools: the perception of well-being and noise. In year 2000 Stansfeld et al.<sup>5</sup> set the goal to create a studies catalogue on this topic up to that moment, noting that above mentioned question is largely **unanswered**.

Before 1993 Many mental health studies in relation to environmental noise have been examined, most of them concerning air and road traffic noise, which have obtained consistent results especially on psychological symptoms. "*Headaches*", "*restless nights*", "*irritability*" and "*tension and sharpness*" were related to high noise levels caused by air traffic in adult subjects. (OPCS, 1971; Kokokusha, 1973; Finke, 1974)<sup>6</sup>.

In the West London Survey, 'depression', 'irritability', 'night vigil' and 'difficulty sleeping' occurred more frequently in adult subjects in areas exposed to aircraft noise. (Tarnopolsky et al., 1980)<sup>7</sup>. In the following years studies were carried out also with the help of administration of questionnaires to investigate impact of airport noise on restlessness, fatigue and irritability: it was found that sensitivity to noise was not related to any specific psychiatric disorder but it was a predictor for future disturbance. There is very little evidence in general of noise effects on **children's mental health**. A British study on the subject (Stansfeld & Haines, 1997)<sup>8</sup> analyzed number 169 children coming from 4 schools exposed to airborne noise and number 171 children from 4 other schools with a lower noise levels. It hasn't been proved a direct effect of noise on depression, but in general has been suggested a possible influence on stress and well-being, as already shown from the results on adults.

Scientific literature collection by Makopa, Kenda et al.<sup>9</sup> In 2014 divided the studies into three categories: fundamental, experimental and epidemiological. The former one identified noise as a source of stress, which also persists after exposure ceasing due to hormonal changes, in people subjected to noise of several decibels. Experimental studies highlighted negative effect of noise on attention, memory and ability to perform a given task.

Epidemiological studies included research on performance of high school students who, in the presence of disturbing noises, presented a cognitive impairment and a reduction in school performance. To support these results, moreover, there is Pinche report of 2006 which recommends the reduction of noise as far as it is a cause of long-term problems on **children's health.** Various researches in various cities demostrate a positive correlation between noise of 55- 60 dB on one side and use of antidepressant drugs and necessity of psychiatric help on the other side.

Crombie's 2011<sup>1</sup> study took a step forward by exploring potential implications of noise on prematurely born and/or underweight at birth children. It doesn't mark any interaction between early biological risk and mental **health problems** resulting from airborne an road trafic noise at school.

However an early biological risk on mental health has been found. Form incoherent results in studies about correlation between children's mental health and noise Dreger et al., 2015<sup>10</sup>, founded their research. Pri1. Introduction

mary school children were exposed to noises from different sources in their homes and then asked to answer to different tests for day and night. Disorders were assessed with Strengths and Difficulties (SDQ) questionnaires submitted to partecipating children's parents. Results have suggested an association between **emotional symptoms, behavioral problems and hyperactivity** on the one hand and children's exposure to noise sources in their homes on the other hand. In 2015 Hjortebjerg conducted studies on behavioral problems accentuated by residential road traffic noise in 7 years old children.

Analysys of children's residential addresses from conception to 7 years of age and SDQ tests submitted to parents, shown an increases of 7% on overall difficulties, 9% on hyperactivity disorder and attention deficit and a 5% for abnormal behavior and difficulty in relationships, related to a 10 dB increase of average traffic noise.

Shield and Dockrell<sup>11</sup> studies in 2000 analyzed researches not only interested to disturbance caused by noise in external environment but also interested to disturbance caused by interior noise in school classrooms. As in previous essays, conclusions have shown that long exposure to noise in younger children has a negative effect on their reading skills, including difficulties in memory, attention and literacy and in general in the field of language use.

Eventually a subjective survey was conducted by Astolfi and Pellerey in 2007<sup>12</sup> and concerned perceived quality of the environment. Through the administration of a questionnaire to a total number of 1006 students on aspects such as acoustics, thermal quality, visual impact and indoor air quality.

Results highlighted the need for acoustic treatments even in small classrooms, negative influence of bad acoustics on concentration and a more disturbing effect of intermittent noises than the one of constant ones.

In this research was set the goal of administering que-

stionnaires for the first time to children between the ages of 5 and 7, assessing subjective perceptions in relation to acoustic parameters that were measured in classes they attended.

# 1.3 Learning disorder related to acoustics and perceived well-being

People affected by specific learning disorder (In Italian: disturbi specifici dell'apprendimento, DSA) have a disorder to adequately understand and do tasks such as reading, writing and calculating; they are called dyslexia, dysgraphia and dysorthography, and dyscalculia, respectively.

Each one has its own specificity because it expresses deficit on respective skill necessary for learning without affecting a general intellectual mechanism and without being therefore connected to additional cognitive disorders. They are usually diagnosed after 8 years of age because this is where acquisition and use of these skills is needed and when the plasticity of the auditory cortex has declined, but this does not exclude the appearance of symptoms already from pre-school age.

According to 2011 estimates by Istituto Superiore di Sanità [Italian healthcare national organization] these diseases affect Italian population with a percentage between 2.5% and 3.5%.

A large number of researches have brought to light correlations between specific learning disorders and emotional and behavioural disorders with a 25-50% coexistence: specifically, this phenomenon affects behavioural disorders, depressive disorders, attention deficit and hyperactivity disorders and anxiety problems.

The experiences of DSA affected subjects significantly concern both self-esteem and motivations that push them to learn, making their inclusion in school group problematic: Interactions are complicated by a sense of inferiority resulting from their difficulty encountered in the moment of learning compared to those of people around them.

This leads to a separation from the group to hide failures. If these failures are not connected to a specific disorder they could cause a refusal of school duties and implementation of defensive behaviours that hinder the diagnosis of such disorders.

Over the years, the possible causes of developmental dyslexia, disorder on which this research focuses, have been discussed, such as general cognitive deficits or specific language disorders.

According to the phonological hypothesis (Vellutino, 1979; Snowling, 2000, 2001, Bishop and Snowling 2004) phonological awareness is the cause of reading difficulties; this concept is in fact linked to basic sounds of language filing and processing. It is a man's ability to communicate his own ideas through a code he created himself.

The basic unit of sound that builds up a linguistic system is called "phoneme".

From this comes "phone" that represents sound generating waves of words as a unit that alters meaning of a word: an example can be the sounds / p / and / b/ in the words pat and bat. Two words that differ only for a single phoneme, which determines a different meaning, are called "Minimal pairs". Each person has an innate encoding ability, which deviates from the ability to learn language.

Acoustic is physical basis on which language penetrates nervous system, acoustic perception is what will install language in the brain, it will work better if speech intelligibility is better.

This is confirmed by Tomatis who in 1957 determined the effect called Tomatis, based on 3 laws:

• the first, "voice contains what ear hears", means that the phonatory apparatus can only reproduce frequencies that were perceived with the hearing system" Clarity of the exposure must be paired with clear and clean sounds because otherwise there would be a difficulty in understanding that would affect the attention of the student and his ability to memorize;

- the second, "If the sounds can be restored to the ear, the voice will immediately restore the missing sounds", led him to develop the first electronic ear to make permanent changes in the individual's listening and voice;
- the third: "If the ear is conditioned sufficiently with one's own voice with good quality, the changes will be maintained"

This law stems from the discovery of Tomatis by improving the automatic listening through the electronic ear, the changes made could be lasting.

# 1.3.1 Dyslexia

Dyslexia is a disorder that results in inability to read affecting both speed, accuracy and comprehension. According to the estimates of the Italian Dyslexia Association (AID) in Italy it is present in about 4 students out of 100.

There are many causes and they range from general cognitive disabilities to more specific language disabilities: the aforementioned deficit of phonological hypothesis (Vellutino, 1979; Snowling, 2000, 2001, Bishop and Snowling 2004) that does not allow the management of phonemes, basic sounds of language, and therefore their cataloguing and re-elaboration through the mapping of the word, its segmentation and the discrimination of the various sounds, from which springs the ability to learn writing that is nothing but representation of sounds in a graphical form.

For a correct reading cooperation of different brain areas is essential. This type of connection is not the same for dyslexics and for normal readers. For the former, any action performed beyond a certain speed is not acquired correctly due to problems in the synchronization of processes. 1. Introduction

There are two tests to diagnose dyslexia based both on word and not-words lists and passages: a) the reading speed calculated in syllables per second; b) the correctness of the reading calculated in number of errors committed.

By diagnostic definition, if the reading speed of a subject deviates from the mean of 2 standard deviations, the interval within which the mean of syllables read per second can fluctuate, the subject is certifiable as dyslexic.

# METHODOLOGY

# 2.1 Participants in the project

# 2.1.1 Schools

First year of experimentation of the project took place between 2015 and 2016 involving a total number of five classes of "Roberto D'Azeglio" didactic direction of Turin. With project "Io Ascolto 2", developed in 2016-2017, the consensus broadened, twelve classes took part with involvement of seven different primary schools, all located in the municipal area of Turin, not far from city centre in areas more or less exposed to traffic, as shown by the descriptions below.

Three nursery schools also took part in the project but these were not taken into account in the analysis. Schools differ from one another by year of construction, location and architectural features. Even classrooms in the same school have been selected in order to have different acoustic characteristics, in order to understand the role of good acoustics in the process of research.

The following didactic directions were examined:

- I.C. D'Azeglio: Primary School Roberto D'Azeglio (1A, 1B, 1C), Primary School San Giovanni Bosco (1D), Primary School San Giacomo (1A).
- I. C. Ricasoli: Primary School Ludovico Antonio Muratori (1A, 1B), Primary School Leone Fontana (1B, 1C).
- I. C. Manzoni: Primary School Antonio Rayneri (1E)
- I. C. Regio Parco: Primary School Michele Lessona, branch of Via Fiochetto (1E).

Each classroom has been characterized from dimensional point of view through inspection and survey defining orientation of the building, volume of room, architectural composition, materials and furniture. For acoustic assessment purpose, spaces adjacent to classrooms were also considered. They've been later classified according to type of noise that could occur there and, consequently, to disturbance they could cause:

- Corridor, stairs;
- Classroom and other premises for educational purposes;
- Toilet;
- Street;
- Inner courtyard, garden.

Dimensions of classrooms are between 6-7m and lengths between 6.20 and 9m. The biggest variations were found in ceilings heights starting from a minimum of 2.90 meters up to 6 meters with flat or vaulted ceilings, a feature that causes considerable acoustic differences (the vaulted ceiling produces greater acoustic reverberation). Regarding materials, all the classrooms have plastered walls and ceilings, while the floors are covered with ceramic tiles or linoleum. In almost all the side walls there are furnishings, generally metallic or wooden shelves and bookcases. Some classroom has already an acoustic treatment with sound-absorbing panels.

What follows is a brief description of each school in order to provide a historical framework - including year of construction, renovation and restoration - and a territorial, architectural and structural framework. Knowledge of these features helps understanding different acoustic behaviours.

Details of the classrooms are collected in summary sheets attached to the essay.



#### **Roberto D'Azeglio Primary School**

Years of construction:1846 Location in the urban context: Center. Predominantly residential area Number of classes involved: 3 Average classroom volume: 250 m3 ca. Average ceiling height: 4,75 m ca. Type of ceiling: 1A: flat / 1B-1C: vaulted Other notes: acoustic treatment with 16% perforated gypsum panels, spaced from the wall with an air gap of 7.5 cm.

The school was built in 1846 on behalf of Società degli Asili, it's been expanded in 1890 and renovated several times, the last of which in 1980. The school has two stories above ground and consists of 21 classrooms and an internal courtyard. It is located in the immediate vicinity of Gran Madre's Church, the Po river and Corso Casale in a predominantly residential area but, despite its central position, it is not particularly affected by road traffic noise. Involved classes, 1A, 1B and 1C, are located on first floor and their rooms all face two street side with low vehicle traffic intensity: the first on Via Martiri della Libertà while the others on Via Santorre di Santarosa. The three classrooms have been acoustically treated previously, with acoustic treatment with 16% perforated gypsum panels. spaced from the wall with an air gap of 7.5 cm. The 1B and 1C, located in the oldest part of the building, are characterized by vaulted ceiling and thick perimeter walls; the 1A has instead a different architectural shape having a false ceiling and a continuous glass ribbon window on top of internal perimeter walls.



Fig. 2. Volumetry 1A Roberto D'azeglio



Fig. 3. Volumetry 1B Roberto D'azeglio



Fig. 4. Volumetry 1B Roberto D'azeglio



Fig. 5. Volumetry 1D Manzoni



Fig. 6. Volumetry 1E Manzoni



Fig. 7. Volumetry 1B Fontana

#### Antonio Rayneri Primary School

Years of construction: 1882 Location in the urban context: very busy streets with intense traffic Number of classes involved: 2 Average classroom volume: 235 m3 ca. Average ceiling height: 4,40 m ca. Type of ceiling: vaulted Other notes: expanded in 1899 to connect it to gyms built in previous years

The school, which was completed in 1882, is one of the first built specimen of a systematic project for school buildings in Turin. The building was designed to accommodate 65 classrooms and then expanded in 1899 with an extension on Via Giacosa and Corso Marconi to connect it to gyms built in previous years. It was eventually raised with an extra story between 1919 and 1920 to accommodate 7 additional classrooms. The complex has four floors and his rectangular floor plan encloses an internal courtyard.

It overlooks Corso Marconi and Via Madama Cristina, very busy streets with intense traffic. The building, given the size, houses both primary and secondary section of first degree and nursery school. The 1D and 1E classes have a similar configuration: both are on the first floor of the building, overlooking the inner courtyard and are they have a vaulted ceiling.

#### Leone Fontana Primary School

Years of construction: 1891 Location in the urban context: Vanchiglia district, near center. Average vehicular traffic Number of classes involved: 2 Average classroom volume: 250 m3 ca. Average ceiling height: 4,50 m ca. Type of ceiling: 1C: flat / 1B: vaulted Other notes: expanded in 1919.

The school building, originally named as Vanchiglia School, was built in 1891, on the legacy of a previously existing school nearby. In 1919 it was expanded with construction of 16 new classrooms and a gym. The masonry building consists of three stories above ground, a basement and an inner courtyard. The building is located in the heart of Vanchiglia district, in an area with average vehicular traffic, mainly due to closeness to Corso Regina Margherita.

The two classes involved in the project, both located on the first floor of the building, show different characteristics: the 1B faces the street and has a vaulted ceiling, while the 1C faces the inner courtyard and the ceiling is flat with lowered beams.

#### San Giovanni Bosco Primary School

Years of construction: 1904 Location in the urban context: Before hill. Vehicular traffic not intense Number of classes involved: 1 Average classroom volume: 135 m3 ca. Average ceiling height: 3,50 m ca. Type of ceiling: inclined Other notes: acoustic revamping with installation of false ceiling

Built between 1903 and 1904, the building is located in an area before hills where vehicular traffic is not intense. The building with a rectangular plan is developed on four floors with a basement, partially underground, and it has an internal courtyard. The 1D class is located on the first floor of the building, overlooking Via Manara and is adjoining a toilet. The classroom has had an acoustic revamping with installation of a false ceiling.



Fig. 8. Volumetry 1C Fontana



Fig. 9. Volumetry 1D Don Bosco



Fig. 10. Volumetry 1A San Giacomo



Fig. 11. Volumetry 1A Muratori

#### San Giacomo Primary School

Years of construction: 1975 Location in the urban context: Vanchiglia district, near center Number of classes involved: 1 Average classroom volume: 135 m3 ca. Average ceiling height: 3,50 m ca. Type of ceiling: sloped Other notes: Position inside a large park-garden. One curved perimeter wall bordering the gym

As a branch of the D'Azeglio primary school, it is located in residential educational community "Villaggio S. Giacomo", on a Turin hill. Built in 1975, the building stands on a surface of 6000 square meters, of which over 5400 used as courtyard and garden. The complex has a square floor plan and only one floor above ground.

Thanks to a particularly privileged position inside a large park-garden, placed on a raised level, the school is not affected by traffic noise which is also quite small in the area. The class under examination overlooks the school's private park and has a sloped ceiling and a portion of a curved perimeter wall bordering the gym.

#### Ludovico Antonio Muratori Primary School

#### Years of construction: 1913

Location in the urban context: Vanchiglia district, near center.

Number of classes involved: 2

Average classroom volume: 270 m3 ca.

Average ceiling height: 4,60 m ca.

#### Type of ceiling: flat

**Other notes:** extended in 1914. Two-storey elevation of the central body in 1924. filter space between the road

Built in Vanchialia district and finished in 1913, it occupies an entire block and houses 18 classes. In 1914 the building was extended to host another 17 classrooms, a new gym and a complete system of showers and toilets. A new two-storey elevation of the central body was carried out in 1924 to increase capacity of the school. The building currently houses on the ground floor a municipal nursery school, named "Vanchiglietta", laboratories of the City of Turin and two gyms. The complex consists of three floors above around and is located next to Corso Belgio, but is separated from the road by a large courtyard overlooked by the two classrooms under examination, both located on the ground floor. The presence of a filter space between the road and the school building partially mitigates the impact of a very intense traffic in the area.

#### Michele Lessona Primary School

Years of construction: 1966

Location in the urban context: Near center. Not very congested by road traffic Number of classes involved: 2 Average classroom volume: 270 m3 ca. Average ceiling height: 3,00 m ca.

Type of ceiling: flat

**Other notes:** majority of students from foreign families

The branch of Via Fiochetto was built in 1966. The majority of students here comes from foreign families. The C-shaped building is located in the immediate vicinity of Corso Regina Margherita and Corso Regio Parco, in an area that is not very congested by road traffic.

The 1E, the only class joining the project, is on the first floor of the building and overlooks Via Fiochetto.



Fig. 12. Volumetry 1B Muratori



Fig. 13. Volumetry 1E Fiochetto

# 2.1.2 Subjects

With **seven schools** participating to the project it's been involved a total number of 239 children in twelve classes.

After a meeting where the research project was presented together with its goal to achieve an improvement in learning, parents of eleven children denied their consent for children to take part to the study. Also twenty children were not involved in the tests due to their cognitive deficits or because of their late enrolment in classes.

However, attention was paid to involvement of the latter in the project in order not to fuel a sense of marginalization. The data acquired for the remaining **208 children** were therefore effectively included in the processing.

The entire survey was carried out on first grade classes because, in order to obtain the results, the age of the investigated subjects should not exceed the limit of 8 years, age beyond which neuronal plasticity is no longer so high and editable.

The focus group consisted of 63% of subjects aged 6 years, 36% of 7 years old children and only 1% of 8 years old subjects. The gender ratio sees the number of males, 59%, prevailing over that of females, 41%. 77% of the sample has Italian mother tongue but it was also important to consider that 23% of the sample, as emerged from the data, in their family context uses as first language Romanian, Moroccan, English, German, Spanish, Albanian, Egyptian.

It is also highlighted that some subjects declared to speak a second language besides Italian. These conditions, together with social status of which implicit data are obtained deriving from the different distribution on the territory, which can be in the centre, in the hills or popular, contribute to influence degree of learning.

The **12 classes** were divided into two groups of 6 according to the administration of an auditory-phonological enhancement program because, for the research purpose, it was essential to have a control mechanism. Therefore, after the acquisition of cognitive test results at the beginning of the observation period (around November 2016), only six classes have joined their regular school curriculum with the additional programme to strengthen their skills.

102 children from:

- 1A, 1B and 1C of Roberto D'Azeglio primary school;
- 1D of Rayneri primary school;
- 1A and 1B of Ludovico Antonio Muratori primary school.

The remaining 96 subjects worked as a "control" group so only initial, intermediate and finals tests were submitted to them. They belonging to the classes:

- 1D of San Giovanni Bosco primary school;
- 1A of San Giacomo primary school;
- 1E of Rayneri primary school,
- 1B and 1C of Leone Fontana primary school,
- 1E of Michele Lessona primary school, branch of Via Fiochetto.

The sample group split has been made out after initial phase of the project, in which all children underwent cognitive tests, in order to create two homogeneous subgroups whose cognitive abilities were not yet conditioned by literacy process. The questionnaires, on the other hand, were submitted to all subjects without distinction and the apart from program followed and subjective abilities of children.

In addition to the subdivision of the classes into groups according to whether or not the enhancement programme was administered, two other subgroups were identified on the basis of the criteria of "good" and "bad" acoustics, in order to study the combined effect of the environmental acoustics conditions and the enhancement on the subjective responses of the children acquired through the questionnaires.

# 2.2 Questionnaires processing

Individuals participating to the project received two questionnaires: one on perception of well-being and one on perception of noise. Introduction part concerned in both cases general questions to provide information about individual child. It's been asked to state age, gender, number of people living at home with them, language used to communicate with family and the most peaceful place known by each of them.



Fig. 14. Introductory questions of the questionnaires

Questionnaires were the tool to evaluate subjective perceptions of each individual child, through both classification of some aspects of their life and their wellbeing, and their evaluation of classroom acoustics. The compilation took place inside the classrooms where the didactic activity takes place every day, and it has always been assisted by the team of researchers of the Polytechnic of Turin and teachers who answered to any possible doubt on the meaning of questions.

All the results of the questionnaires were collected and averaged by class, and then distributed in the form of diagrams and graphs in reports easily accessible by teachers, as shown in the annexes of this thesis work.

### 2.2.1. Wellbeing Perception Questionnaire

#### WELL-BEING MISSION

The purpose of our research is to understand how you evaluate your well-being. Would you help us? fill in the following questionnaire



Fig. 14.1 First page of well-being questionnaire

Questionnaires on the perception of well-being were developed on the basis of the study conducted by New Philanthropy Capital (NPC) a charitable organization in London that produces reports on social welfare to channel funding and to raise awareness in donors. In 2013 the organization has been charged to modify and to develop the tools to measure well-being of young people with special educational needs (SEN). Welfare can be objective, if we talk about health and wealth, and subjective, if we consider interpersonal relationships and self perception of the individual. In this project welfare has been analysed as subjective and treated as a sense of self- esteem.

Previous analysis, used both in schools and in any body dealing with young people, measured well-being with objective parameters such as school attendance or participation in sports while NPC activity aims to enhance subjective aspects using them as unique approach to welfare evaluation, recording how subjects assess different aspects of their life. Measurements are made through a questionnaire of 41 questions submitted to children aged 11 to 16, who evaluate there eight aspects of well-being: self-esteem, emotional well-being, resilience, community, school, family, friends, and overall satisfaction with life. With laws change and greater support for children with special educational needs (SEN), there was a need to adapt questionnaires in order to measure well-being of younger children. Thus NPC undertook an updating process of the questionnaires in collaboration with a team of educational psychologists and experts in the field. The result was a shorter questionnaire, with clearer sentences, with a simpler language and with use of same scale and same visual representations for the entire measurement, in order to make compilation more comprehensible.

Other levels have been studied for younger children in such a way that they are able to compile them autonomously and request support only in case of need.

Survey	Likely groups	Age range	Length	Scale	Format
Level 1	Medium need	11–16 years	21 questions	5 point	Words
Level 2	Medium/complex medium need	11–16 years 7–10 years	14 questions	5 point	Words
Level 3	Complex need	7–10 years	14 questions	5 point	Words and symbols
Level 4	Highest level	7–10 years	14 questions	3 point	Words and symbols

Table 1. Adaptations of the welfare measure for different levels of education (from article by Sabri et al.<sup>14</sup>.

Aspect of well-being	Description	Length and scale
Emotional well-being	Combines statements on self-esteem, emotional health and resilience	9 statements, 5 point agreement scale
Friends and family	Quality of relationships at home and with friends	5 statements, 5 point agreement scale
Safety online	Safety online	1 statement, 5 point agreement scale
School	Satisfaction or enjoyment of school	5 statements, 5 point agreement scale
Life satisfaction	Overall rating of life on scale of 0-10	Ladder scale

Table 2. "Level 1", i.e. the lowest in terms of need within the population studied (from article by Sabri et al.)<sup>14</sup>

The chosen questions in this research, starting from those proposed by article by Sabri et al.<sup>14</sup>, Included 4 sections of three questions each, for a total of 12, plus a scale of happiness:

 How much do you agree with each sentence? (Yes; Not sure; No)
 A I am proud of myself
 B I'm serene
 C I have a lot of fun

2. How much do you agree with each sentence? (Yes; Not sure; No)A Lots of things about me are good

- A LOIS OF HININGS UDOUT THE UTE GOOD
- B I feel pleased with myself
- C I am a cheerful child

3. How much do you agree with each sentence? (Yes; Not sure; No)
A My home is a good place to relax
B I enjoy myself with my friends
C My friends help me if I need it

4. How much do you agree with each sentence? (Yes; Not sure; No)A I like being in school

- B | feel safe at school
- C I feel like I fit in at school

#### 5. How happy are you?

Put a cross on the number corresponding to your degree of happiness





#### 2. How much do you agree with each sentence?



#### 3. How much do you agree with each sentence?



4. How much do you agree with each sentence?

		<b>A</b> Yes	Not sure	<b>P</b> No
А	Hike being in school	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\bigcirc$
В	I feel safe at school	0	0	$\bigcirc$
С	l feel like I fit in at school	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\bigcirc$

#### 5. How happy are you?

Put a cross on the number corresponding to your degree of happiness



Fig. 15. Questions from well-being questionnaire

# 2.2.2. Noise perception questionnaire

#### NOISE MISSION

The purpose of our research is to understand how well you hear in your classroom. Would you help us? fill in the following questionnaire



Fig. 16. First page of noise questionnaire

Questionnaire about noise has been elaborated thanks to scientific literature, in particular to article by Astolfi A. and Pellerey F., 2007<sup>12</sup>.

The above mentioned article proposes a study on perception of various environmental aspects including acoustics. Thus, for that research, a questionnaire was developed, validated with several pilot tests, on the intensity and disturbance of average perceived noise in the classroom, reverberation and voice quality of students and teachers. This questionnaire has been simplified for this thesis work to be given to very young children. In the original version, in fact, in addition to being much longer, there were also more complicated terms, since it was administered to high school students.

Beginning with this example, questions have been divided in three groups, the first of which contains questions on disturbance from external, internal and natural noises. The second group, composed of sections 5 and 6, examines perception of noise arising not only from the environment, but also from the students themselves when they are performing a collective task or when they are in silence.

Finally, the last two sections concern perception of quality of voice, including teacher's voice and students' ones. All sections have a question on perception of noise and one on disturbance causes by it.

The questions are as follows:

1. When you are in classroom, do you hear..

A Traffic Noise? (Yes; No)

B If Yes, how much does this noise disturb you? (A little; Quite; A lot)

2. When you are in classroom, do you hear..A ambulance, firemen and police sirens? (Yes; No)B If Yes, how much does this noise disturb you? (A little; Quite; A lot)

3. When you are in classroom, do you hear..
A sounds of radios or recorders coming from other classrooms or from the corridor? (Yes; No)
B If Yes, how much does this noise disturb you? (A little: Quite: A lot)

4. When you are in classroom, do you hear..A rain noise if it's raining outside? (Yes; No)B If Yes, how much does this noise disturb you? (A little; Quite; A lot)

5. When you are in classroom...

A the noise present when you perform a task in silence seems you... (Low; Medium; High)

B How much does this noise disturb you? (A little; Quite; A lot)

6. When you are in classroom...

A the noise present when you're working in a group seems to you... (Low; Medium; High)

B How much does this noise disturb you? (A little; Quite; A lot)

7. You're in classroom. How do you hear the teacher's voice if...

A you are in silence while she is talking? (Good; Quite good; Bad)

8. You're in classroom. How do you hear your classmate's voice if...

A he or she is answering to the teacher? (Good; Quite good; Bad)

Yes

No

1. When you are in classroom, do you hear..

<del>~~</del> ~

Traffic Noise?

А



Fig. 17. Questions from noise questionnaire

#### $\bigcirc$ $\bigcirc$ <u>.</u> <del>~~</del> ~ If Yes, how much does this noise disturb you? В $\bigcirc$ 2. When you are in classroom, do you hear.. Yes No A ambulance, firemen and police sirens? $\bigcirc$ $\bigcirc$ <u>.</u> (::)little Enoug A lot If Yes, how much does this noise disturb you? В $\bigcirc$ $\bigcirc$ $\bigcirc$ 3. When you are in classroom, do you hear.. 0 Yes No sounds of radios or recorders coming from other classrooms or from the $\bigcirc$ $\bigcirc$ A corridor? $\odot$ $\bigcirc$ A little Enough A lot B If Yes, how much does this noise disturb you? $\bigcirc$ $\bigcirc$ $\bigcirc$

# 2.3 Acoustic characterization of classrooms

Acoustic comfort, defined as the psychophysical condition of satisfying acoustic needs expressed by a person who's carrying out a given activity, is essential reference for understanding the good acoustics of an environment. Environments mainly intended for comprehension of speech, such as classrooms, require noise, reverberation and speech intelligibility control. The goal is to eliminate disturbance, defined as temporary alteration of psychophysical conditions caused by presence of noise, as well as main cause of reduced comprehension of speech, reduced concentration ability, source of annoyance and feeling of frustration attributable to noise and other psycho-sociological factors combined effect.

Poor speech intelligibility can hinder teaching and, consequently, weigh heavily on student's learning, especially in early years of the educational program. In contrast, in a properly designed classroom, auditory stimuli are clearly and distinctively perceived, bringing considerable benefits to both pupils and teachers.

A good acoustics, in deed, increases the amount of words, phrases and in general concepts understood, giving a rise in auditory processing of subjects. Benefits are not only found in quality of learning, but also in help to teachers who will not have to use excessive vocal effort trying to be understood.

As in most of the classes examined, high values of reverberation and noise prevail over clarity, also due to a lack of a national regulation, there are no limits to maximum values for these parameters nor specifications for design of dedicated environments.

## 2.3.1 Measured acoustic parameters

For evaluation of noise level (LN) we consider the LAeq and LA90 acoustic parameters based on 3 minutes acquisition periods:

**Equivalent level of background noise,**  $L_{Aeq}$  [dB].  $L_{eq}$  is the sound level in decibels equivalent to the total sound energy measured over a stated period of time.  $L_{Aeq}$  is the sound level in decibels equivalent to the total A-weighted sound energy measured over a stated period of time.

**Percentile level of background noise,** L<sub>A90</sub> [dB]. It is the noise level that is exceeded for 90% of the measurement period.

The legislation, UNI 11367:2010<sup>15</sup> and UNI 11532:2018<sup>16</sup>, currently does not provide optimal reference values regarding measures of the noise level in the occupied classroom, nor for any result of  $L_{A90}$ . The only comparable one among measured values, is equivalent level of background noise in an empty classroom. BB93<sup>17</sup> indicates that optimal value for this parameter must be  $\leq$ 40 dBA in the case of existing school buildings or  $\leq$ 35 dBA in the case of new school buildings.

For evaluation of  $\ensuremath{\textbf{speech signal level}}$  (L\_s) we consider:

**Equivalent signal level, L<sub>Aeq</sub> [dB]**, with "normal" voice stress corresponding to 60 dB(A) at 1m in anechoic conditions in accordance with IEC 60268-16<sup>18</sup> spec.

Speech intelligibility, defined as percentage of words or phrases understood on totality of those spoken during verbal communication, is measured by:

**Speech Transmission Index for Public Address systems, STIPA [-]**. Index of transmission of the speech, is the main indicator of the intelligibility in a room. It was acquired according to IEC 60268-16<sup>18</sup> spec. Measured values were then compared with UNI 11367:2010<sup>15</sup> recommended values. According to UNI standards an optimal STIPA is a level greater than or equal to 0,60. These measurements did not provide relevant results for this project and were therefore discarded.

**Clarity,** C<sub>50, 0.5-1 kHz</sub> [**dB**]. Describes the feeling of clearly perceiving speech and depends on distance of detection point from source. This parameter was measured according to UNI EN ISO 3382-1:2008<sup>19</sup>; values obtained were compared with recommended values expressed by UNI 11367:2010<sup>15</sup>, which indicates as optimal a value greater than or equal to 0 dB.

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt} [dB]$$

**Useful / detrimental ratio, U**<sub>50, 0.5-1</sub> **kHz (dB).** Similar to the C<sub>50, 0.5-1 kHz</sub>, it expresses relationship between useful sound, which includes direct sound and early reflections, and harmful sound, which combines subsequent reflections and background noise.

Although is not defined a range of frequencies within it must be calculated, it is used  $C_{50}$  range, contained in  $U_{50}$  formula, which by regulations considers frequency bands between 500 and 1000 Hz. The parameter was calculated with the formula obtained from article "On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility" by JS Bradley, RD Reich, and SG Norcross:

$$U_{50}=10Log\left[\frac{10^{\frac{C_{50}}{10}}}{1+\left[\left(10^{\frac{C_{50}}{10}}+1\right)*\left(10^{\frac{Ln-Ls}{10}}\right)\right]}\right] \ [dB]$$

Formula uses values 0.5-1 kHz for  $C_{50}$  and  $L_s$  values are obtained point by point, while for LN is used average equivalent level of the measurements taken in the occupied classroom with children in silence,  $L_{Aeq}$ SIL. Optimal value used refers to considerations presented in "Speech Intelligibility Studies in Classrooms" by J.S. Bradley in which the datum is considered positive when it is greater than 1.

**Signal-to-Noise Ratio, SNR**<sub>A</sub> [dB]. It is defined as difference between Signal Level ( $L_s$ ) and Noise Level (LN), considered as  $L_{Aeq}$  in occupied classroom with children in silence. It depends on acoustic characteristics of teacher's voice, distance between speaker and listener, presence of background noise, distance between listener and specific noise sources. It was obtained point by point using formula:

$$SNR = L_{s} - LN [dB]$$

In which  $L_s$  is calculated point by point while average noise levels is used for LN. Values obtained were compared with optimal values expressed in literature by Picard & Bradley, according to which the optimal value is greater than or equal to 15 dB.

For evaluation of reverberation we consider:

**Reverberation time**, **T**<sub>20</sub>, 0.250-2 kHz, occ</sub>, **T**<sub>20</sub>, 0.5-1 kHz, unocc</sub> **[s]**. It is the time necessary for the sound level to decrease by 60 dB from switching off instant of sound source. It describes sound reverberation perception, i.e. how much the environment changes the sound. It was measured according to the UNI EN ISO 3382-1:2008<sup>19</sup> standards, with integrating impulse response in reverse method. The SWEEP signal, emitted from source in occupied classroom, and the clapper in empty classroom were used for the measurement. In the first case results were averaged to obtain a value related to the whole environment, which means that environment average was calculated considering

values of individual reverberation times obtained for each position point of phonometer. Optimal values to refer to are not unique values, they're linked to volume of the classroom. For this reason, the reference value, which should never be exceeded, was calculated for each classroom using formulas from to two different regulations.

- DIN 18041:2004<sup>20</sup> (not binding regulation in Italy) defines optimal values according to volume of the classroom, frequency in octave bands and activity taking place within the environment (teaching):

$$T_{20, 0.250-2 \text{ kHz, occ}} = 0.32 \text{ g} (\text{V}) - 0.17 \text{ [s]}$$

- UNI 11367:2010 standard instead gives indications for reverberation time in empty classroom for environments used for speech:

$$T_{20, 0.5-1 \text{ kHz, unoc}}c = 0.32 \text{ [g (V)} + 0.03 \text{ [s]}$$

# 2.4 Data acquisition: the measuring protocol

Measurements to assess acoustic comfort of the classrooms were carried out in May and June 2017. In agreement with the teachers and the availability of the children, a team of a minimum of 2 and a maximum of 6 people took care of transporting the technical equipment for data acquisition to the various schools. The methodology adopted to obtain the acoustical response has been previously agreed so as to always use the same methodology for all classes

**Livello di rumore LN**, included traffic noise and other external noise in general, noise from the corridor and from the other adjacent classrooms. It is measured at 3-minute acquisition intervals measured by the phonometer model "*NTi XL2*", at the height of 1,10m and calibrated weekly using a special Larson Davis calibrator that emits a known signal of 94 dB at a frequency of 1000 Hz. Measurements were made at 2 or 3 general points in the classroom under three conditions:

- classroom occupied measurement, with children engaged in activities of various kinds that could be group-based, under the guidance of the teacher, or free in which the children could decide what to do;
- measurement carried out in occupied classroom with children in silence;

• measurement performed unoccupied classroom Measurements were made at a full scale of 10 - 110 dB.

**Equivalent signal level, L<sub>Aeq</sub>** measured at each point by phonometer

- At Ref1, Ref2, one meter respectively from sources S1 S2, with the phonometer at a height of 1,50 m;
- At points 1,2 on the central axis of the classroom, 3 on the perpendicular axis, and at the off-centre point 4. (Fig 18-19)

**Speech Transmission Index for Public Address systems,** calculated using the signal emitted by the source "*NTi Audio TalkBox* ", which reproduces the teacher's vocal effort during school activity as it is characterized by a directivity diagram similar to that of the human voice. To simulate the height of the teacher's mouth, the source was placed at a height of 1.50 m and placed at points S1 and S2. For this measurement the source has issued a **STIPA** signal that is a version of STI that uses a simplified method and a test signal. In this signal, each octave band is simultaneously modulated with two modulation frequencies distributed in a balanced way between the octave bands. A STIPA measurement usually takes 15 to 25 seconds.

The measurements were recorded by the phonometer

placed in the Rif at height of 1.50 m and 1.10 m at the other points.

**Clarity,** C<sub>50 0,5-1kHz</sub> [dB] The values taken in analysis are those obtained from the **SWEEP** analyses emitted by the source. It is a signal composed of a pure tone whose frequency increases over time with a certain trend. A sequence of three logarithmic SWEEPs shall be used, whereby the energy is greater at low frequencies, with an initial frequency of 100 hz and a final frequency of 20000 hz. The silence between one SWEEP and another is 1 second. A SWEEP measurement takes approximately 20 seconds.

The measurements were recorded by the phonometer placed in the Rif at a height of 1.50 m and 1.10 m at the other points. (Fig.18-19)

#### **Reverberation time**

- **T**<sub>20, 0,250-2 kHz, occ</sub>. [s] The occupied classroom reverberation time was measured when the SWEEP signal was output from the source. The values recorded by the phonometer at each point marked in the environment (Fig. 18-19) and were averaged in order to obtain a single value for the entire environment.
- T<sub>20,0.5-1 kHz</sub>, uncc [s]. Measurements of the unoccupied classroom reverberation time are taken using the clapper and the phonometer in the various corners of the room and in the central position. They were carried out with the presence of two operators, one of whom had the task of using the clapper and the other recorded the measurements using the phonometer in various generic points of the environment.



# DATA COLLECTION

3. Data collections

# 3.1 Questionnaires

# 3.1.1 Perception of Well-Being

All answers have been classified on a spreadsheet for analysis. Answers were there represented in a number format so that data could be easily compared and related to acoustic measurements. For the first four blocks of questions value 1 was assigned to the answer "Yes", value 2 assigned to "I do not know" and value 3 assigned to "No".

To question number 5 were kept values as expressed by children. In a scale from 0 to 10, each child had to tick a number to express his level of happiness.

# 3.1.2 Noise perception

Same as results of wellness questionnaires, noise questionnaires results have been classified on a spreadsheet in a number format. In this case, for questions providing answers: Yes / No, 1 / 2 values were assigned respectively. In case of a positive outcome, subjects were asked to quantify choosing between: Little / Enough / Much, translated with numbers 1 / 2 / 3. Same values were assigned respectively to questions with answers Low / Medium / High and Good / Quite well / Bad. Both for noise and wellness questionnaires a higher number is associated to a greater discomfort.

# 3.2 Acoustic data

All values measured in each classroom were put in a spreadsheet, within a table with lines representing classes and columns indicating acoustic parameters. In addition to pure values provided by the phonometer point by point, averages resulting from values both in central point and in different positions were calculated. Furthermore, for all parameters standard deviation and slope were also calculated. The latter was fundamental to understand the propagation of a parameter in the classroom as the average value does not express the exact value and therefore does not explain the alterations in the environment. The slope instead represents the curve that best approximates all the measured data: the more the curve is slope, the more differences are present.

The following methods allowed to obtain requested values:

- LN<sub>A90</sub> and LN<sub>Aeq</sub> / L<sub>SA90</sub> and L<sub>SAeq</sub>: Average level of values obtained in individual measurements in different points of the environment was taken into account. Values from the file \_*Report.txt* supplied directly from phonometer were put in the table then the average level was calculated with a mathematical formula.
- SNR: was calculated, for each point, as the difference between level of L<sub>s</sub> signal in the same point and average of noise level L<sub>A</sub> in condition of classroom occupied and children in silence.
- C<sub>50</sub>: importing the .wav files provided by phonometer into Adobe Audition, it was possible to obtain values related to this parameter with use of Aurora plug-in. For each point in the classroom where measurements were taken, three C<sub>50</sub> values were obtained, these were subsequently averaged to give a single value to each point. For this parameter average, slope and value at central point were taken into account.
- U<sub>so</sub>: these values were not obtained directly from phonometer but were calculated using the formula explained in the paragraph about measured parameters. In this case as well average, slope and value at central point were taken into account.

- **T**<sub>20, 0.250-2 kHz, occ</sub>: as for the C<sub>50</sub>, it was possible to attribute to each point of the environment the value of reverberation time by importing *.wav* file into Audition software; results were then averaged in such a way to obtain a value related to the whole environment, calculating the average starting from individual reverberation times, point by point.
- **T**<sub>20, 0.5-1 kHz, unocc</sub>: in this case the values of empty classroom reverberation time were obtained directly from the *T60\_Report.txt* file supplied by phonometer. Results were obtained in third octave bands for which the average for central band was calculated and subsequently averaged to attribute a single parameter to the whole environment.

# 3.3 Statistical methods

Data collected was analysed and catalogued with support of Microsoft Excel while the SPSS software version 24, SPSS Inc. was used for statistical calculations.

With the help of Excel, graphs have been drawn to allow us to highlight and, above all, to compare the answers both between subjects belonging to good and bad acoustics, and between Italians, happy and not happy.

### 3.3.1 Statistical indexes

Once a series of measures is taken, statistics allow extraction of information by ordering and analysing data object of the study.

Precisely, descriptive statistics use specific indexes to deal with synthesis and classification of information referring to a given sample of data. To describe the trend of distribution there are statistical indexes to identify a central tendency, a value able to summarize the whole of observations and to better represent disposition of data within the sample and distribution of the same, returning a scalar to evaluate existing data diversity.

In this study average was mainly used, evaluating dispersion through use of standard deviation.

Average is obtained with sum of all values divided by number of observations in order to obtain a single number to represent the entire sample and express central tendency of the total of relative data in a phenomenon.

It turns out to be an important index whose defect is total absence of a representation of dispersion of data.

$$\overline{\mathsf{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Standard deviation was used to measure dispersion of the random variable around mean value. Being a measure of distance from average it is always positive. The lower the value, the more concentrated data will be, while a larger dispersion will be represented by a larger value.

Dev. St.= 
$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \overline{X}\right)^2}{n-1}}$$

Once that indexes allowing description of data are defined, it is necessary to find other indexes to represent instead a possible association. In statistics this term is related to dependence of two or more variable events, it helps to understand if the one changes, the other changes too. This type of analysis is based on covariance index, used itself to define correlation between two variables. 3. Data collections

Covariance is the index that allows you to check whether there is or not a linear dependence between two statistical variables (X and Y):

$$Cov(X,Y) = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{X}) (y_i - \overline{Y})$$

It can be positive, when X and Y vary tendentially in same direction, meaning that increasing X, Y tends to grow as well and vice versa, negative, when the two variables tend to vary in opposite directions, i.e. when a variable grows the other tends instead to decrease, or nothing, when there is no tendency of the two variables to vary simultaneously. In the latter case the two variables are said to be linearly independent or unrelated.

Correlation allows to study the intensity degree of dependence between pairs of variables:

$$r_{xy} = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{(VarX)(VarY)}}$$

#### Correlations

Correlation represents tendency of two variables to vary together. Speaking of correlation, it is necessary to specify two aspects: what kind of relationship exists between the variables and what form does this relationship have?

The type can be linear or non-linear. Linear correlation represented on a Cartesian coordinate system is as close as possible to a straight line. For this reason, as first variable increases or decreases, second one increases or decreases, respectively.

The non-linear relation is identified on a Cartesian coordinate system by a parabola or a hyperbola, with a curvilinear trend.

Form of relationship indicates instead direction and entity. Direction is positive when at growth of a variable, the other one also grows. On the contrary, it is negative when one increases and the other decreases and vice versa. Entity instead indicates how strong is the existing relationship between considered variables. The more the values are grouped along a straight line the more this relationship is robust. In a situation where values are dispersed evenly there is no relationship between the two variables.

In order to explain relationships between variables in terms of direction and entity, it is necessary to introduce the concept of correlation coefficient. It is a standardized value and ranges between +1.00 a perfect positive correlation and -1.00 expressing a perfect negative correlation. If correlation is equal to 0 it means there is no relationship between variables. At different scales of the variable correspond different types of coefficients.

#### Pearson's correlation coefficient r

This coefficient is used to evaluate correlation between variables that have equivalent ranges or ratios. It needs a basic hypothesis that provides a linear arrangement of data so it only shows linear correlations. It is calculated as the sum of the standardized products of the two zx and zy variables divided by number of observations or number of subjects.

$$r = \frac{\sum z_x \, z_y}{N}$$

for calculations the following formula, derived from previous, one is used:

$$r = \frac{N \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{[N\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2][N\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}}$$

To determine if correlation is significant, the sample distribution of r in correspondence with degrees of freedom N-2 of the coefficient needs to be checked in appropriate tables.
## Spearman's $r_{\rm c}$ coefficient

It is a coefficient used to measure an ordinal type of correlation between the two variables. It is an approximation of Pearson's coefficient and is calculated with the following formula:

$$r_{s} = 1 - \frac{6 \Sigma d_{i}^{2}}{N^{*}(N^{2} - 1)}$$

where [di] expresses difference between ranks of variables for i-th subject.

Unlike Pearson's coefficient, it can also measure non-linear correlations: if value of coefficient is similar to Pearson's one, there is a linear relation, otherwise it is non-linear one. Relationship between variables is expressed considering concordant or discordant positions for each object in the two rankings.

This coefficient flaws in an excessive estimate for correlation when many ranks have at least one variable in common. To verify significance of a correlation it is necessary to make a quantitative estimate of probability that observed event is not due to chance:

it is necessary to introduce the p value to represents this probability. It can only assume values between 0 and 1: a "p" value near 0 is a sign of high significance. To obtain a significant correlation, and not only a statistically valid one, level of p value must be less than 0.05 (5%) or, even better, near 0.01 (1%).

Correlations were made between subjective parameters (well-being - well-being, noise-noise and wellbeing - noise questionnaires) and between objective parameters (acoustic data). In this way, existing links within same category were established first. Later, through correlations between questionnaires and acoustic parameters, reciprocal relationship existing between the two was sought. All correlations were made by referring to the Pearson and Spearman coefficients with two-tailed significance. Normality and non-parametric tests

In order to use parametric estimates for analysis it is essential to verify normal distribution of the data. For this requirement to occur, data must be symmetrically distributed making sample, mean, median and fashion coincide, graphically creating a bell-shaped structure. If distribution were to be asymmetric, non-parametric estimates should be applied.

The Shapiro-Wilk is one of the tests that best checks normality, especially for small samples.

It is expressed by a fraction comparing two alternative estimators of variance  $\sigma^2$ :

numerator is a non-parametric estimator and denominator is a parametric estimator represented by sample variance

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}$$

The W statistic can assume values from 0 to 1. If the value of W statistic is too small, the test rejects the null hypothesis that sample values are distributed as a normal random variable.

It was applied to understand if values related to answers from questionnaires were distributed normally

If the test confirms normality of distributions of analysed data, it is possible to proceed with parametric tests, such as ANOVA or variance analysis, otherwise it is necessary to resort to non-parametric type tests.

The Kruskal-Wallis test is a non-parametric analysis that allows to evaluate equality of medians of different groups, indicating whether these groups come from the same population or from population with an equal median.

It represents a non-parametric corresponding to variance in which rank replaces data and is therefore applied when a normal population distribution can not 3. Data collections

be assumed.

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{g} n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^{g} \sum_{i=1}^{n} (r_{ij} - \bar{r})^2}$$

This test also takes into consideration more than two situations in order to indicate if there are significant differences within the group.

Having assessed presence of differences, the Mann-Whitney U test compares solutions in couples to verify exactly where these are located.

Both tests assuming a 95% significance level.

Significance of values is calculated through the p-value (p), also called observed significance level, which in statistics is a test used to verify a hypothesis. It indicates probability, given an observed result, of obtaining another equal to that or more extreme.

This test is carried out assuming a null hypothesis and a  $\alpha$  threshold value which, by convention as in calculations carried out in this study, is equivalent to 0.05. The latter will indicate the significance level of the test.

If  $p > \alpha$ , empirical evidence is not sufficiently contrary to null hypothesis and can not be rejected.

If  $p \le \alpha$ , the empirical evidence is strongly contrary to null hypothesis and must be refused making the data observed statistically significant.

If  $p \sim \alpha$  it is necessary to evaluate more carefully because the significance is doubtful.

### Linear regression

A regression analyses the nature and intensity of a linear relationship between two variables, of which one depends on the other, or at least one is measured without error.

To determine the line best suited to the data, the method of least squares shall be used, which consists in finding a function that minimises the sum of the squares of the distances between the data observed and that of the curve representing the function itself.

Regressions were used to graphically explain the relationship between subjective and objective parameters

# RESULTS

# 4.1 Analysis of acoustic data

Data collected during acoustic measurements, catalogued class by class, reflect the current condition, showing that in most cases parameters values are too high and acoustics of the classroom hinders a good performance of activity at school.

Graphs allow to compare obtained values with optimal ones in relation to word listening. They allow to identify situations with the best acoustics in relation to most significant parameters such as reverberation time, clarity and noise and signal levels. The occupied classroom reverberation time ( $T_{20, 0, 250\cdot 2}$ , which can be referred to listener's perception, is one of the most significant acoustics parameters. Almost all measured classes exceed optimal values deriving from DIN 18041:2004. (Chart ...)

Particularly the  $\rm T_{20,\ 0,250\cdot2\ kHz,\ occ}$  considerably differs from reference in classes of the Muratori and Fontana schools and 1D of the Manzoni school.

Best values, closer to those proposed by legislation, are found in classes that have undergone acoustic corrections, that is in the classes of the D'Azeglio school and in that of Don Bosco.



Chart 1. Occupied classroom reverberation time, T<sub>20</sub>

For noise it was evaluated the only parameter comparable with legislation, the BB93, that is the background noise in empty classroom  $\rm L_{Aeq\ unocc}.$ 

Indicated value, 40 dB(A), is exceeded in the Muratori classes 1A and 1B, Fontana 1C and 1D and Manzoni

1E. They have respectively values of 43,0 - 42,3 - 45,6 - 48,9 - 42,2 dB(A). (Chart 1)

From comparison of parameter in the elaborated graphs, no particularly relevant situations emerged in relation to calculated background noise levels. (Chart2)



Chart 2. Unoccupied classroom background noise  $L_{Aaa}$ 

Since parameters related to intelligibility of speech are the most affected by distance from source and consequently by position of measurement, in order to compare classrooms with each other it was necessary

to consider value in the central position of the room. Analysed parameter was Clarity which, like other parameters, highlighted problems in some classrooms. (chart 3)



Chart 3. Clarity in the central position of the room,  $C_{_{50}}$ 

Indication provided by Italian standard UNI 11367:2010 has a limit value of 0 dB and therefore considers higher than 0 dB values to be admissible, showed inadequacy of 1B Muratori and 1B Fontana classes, a limit condition of the 1C Fontana and 1B D'Azeglio classes and good values in 1C D'Azeglio and 1D Don Bosco classes.

To improve analysis by including the distance factor that affects C50, U50, SNRA, these parameters were examined in form of slope graphs in order to include distribution within the classroom. In fact, it is possible to have a scenario in which values are satisfactory in certain points but they are not in some others.

Distribution of speech intelligibility is important, when the acoustic parameters that express it are evenly distributed, it means that acoustic condition of the classroom is better.

Values considered for this analysis were measured on source axis and they demonstrated, as foreseeable, that sound energy necessary for comprehension is not uniformly distributed, but it decreases as it moves away from the source.





Chart 4. Slope of C50 of 1C D'Azeglio school





Chart 6. Slope of C50 of 1D Don Bosco



Chart 5. Slope of C50 of 1B Fontana







Chart 8. Slope of  $C_{_{50}}$  of all classrooms





Chart 9. Slope of L<sub>s</sub> of all classrooms





4. Results



Chart 11. Slope of U<sub>50</sub> of all classrooms

	Scuola	Classe	T <sub>20, 0,250-2 kHz, occ.</sub> average [s]	Background noise_average [dB]	Clarity_at midpoint [dB]
2	Fontana	1B	1.2	39.3	-0.62
JStic		1D	1.31	45.6	-0.05
Acol	Muratori	1A	1.22	43.0	1.12
pp		1B	1.43	42.3	-1.07
~	Manzoni	1D	1.21	48.9	0.67
		1E	0.85	42.2	2.2
	Don Bosco	1A	0.53	28.7	7.30
stic	Fiochetto	1E	0.76	38.4	5.74
od Acou	D'Azeglio	1A	0.88	36.7	0.99
		1B	0.92	30.1	-0.04
60		10	0.77	29.3	5.14
	San Giacomo	1A	0.86	38.3	1.54
C	)ptimal values: led: Non-optimal v	value	<] s	<40 dB	>0 dB

Table 3. Comparison of measured acoustic parameters and optimal values

# 4.2 Division into groups and exclusion criteria related to measured parameters

After compared Values obtained from acoustic measurements to each other, obtaining stronger correlations for noise level in group activities and for reverberation time in conditions of occupied and empty classroom. Because noise level in group activity was not measured for all classrooms, it was decided to use reverberation time as discriminator to divide classes into two groups.

	L <sub>Aeq_sil</sub>	L <sub>Aeq_gr</sub>	L <sub>s</sub> _Rif	L <u>s</u> _M	SNR_p	SNR_M	U <sub>50_</sub> р	U <sub>50_</sub> M	С <sub>50_</sub> р	C <sub>50_</sub> M	T <sub>20,Occ</sub> _M	T <sub>20unocc</sub> _M
L <sub>Aeq_sil</sub>	1											
L <sub>Aeq_gr</sub>	,656 <sup>*</sup>	1										
L <sub>s</sub> _Rif	,579 <sup>*</sup>		1									
L <sub>s</sub> _M	,615 <sup>*</sup>		,894**	1								
SNR_p	-,940 <sup>**</sup>	-,682*			1							
SNR_M	-,959**	-,653*			,980**	1						
U <sub>50_</sub> p	-,740 <sup>**</sup>		-,623 <sup>*</sup>		,697 <sup>*</sup>	,724 <sup>**</sup>	1					
U <sub>50</sub> _M		-,649 <sup>*</sup>	-,617 <sup>*</sup>				,864**	1				
С <sub>50_</sub> р			-,651 <sup>*</sup>				<i>,</i> 898 <sup>**</sup>	,814**	1			
C <sub>50</sub> _M			-,641*				,808**	,777**	,925 <sup>**</sup>	1		
T <sub>20,Occ</sub> _M			,662 <sup>*</sup>				-,816**	-,890**	-,846**	-,892**	1	
T <sub>20unocc</sub> _M		,757 <sup>*</sup>	,746**	,642 <sup>*</sup>			-,726 <sup>**</sup>	-,861**	-,700*	-,810**	,930**	1

Table 4. correlation of Pearson between acoustic parameters.

\*. La correlazione è significativa a livello 0,05 (a due code).timal values \*\*. The correlation is significant at the level of 0.01 (two tails). A threshold has been set for T2O, above threshold are classrooms defined by bad acoustics and below that are classrooms characterized by good acoustics.

The threshold has been set around the value T20, 0,250-2 kHz, occ = 1 s. (Chart 5)



Chart 5. Occupied classroom reverberation time discriminating between good and bad acoustics with thereshold of 1s

Based on this threshold, the following two groups emerged:

### Bad acoustics:

Fontana 1B Fontana 1C Manzoni 1D Muratori 1A Muratori 1B

### Good acoustics:

D'Azeglio 1A D'Azeglio 1B D'Azeglio 1C Don Bosco 1D Fiocchetto 1E Manzoni 1E San Giacomo 1A

Same procedure was repeated dividing the groups on the basis of other acoustic parameters, such as Clarity with a threshold of 0 dB, and results were the same. This confirmed legitimacy of subdivision, strengthened also by fact that reverberation time, compared to other parameters such as STI,  $C_{50}$ ,  $U_{50}$ , etc., does not depend on distance between source and receiver and is therefore more suitable to describe acoustic quality of a classroom.

A second evaluation was made with the help of questionnaires, this lead to classify children into following groups:

### All subjects Happy subjects Unhappy subjects

In order to divide subjects in happy and non-happy category, question No. 5 of the questionnaire of wellbeing (How happy are you?) has been used. Children who indicated a value from 0 to 5 were considered non-happy while happy were considered those who indicated a value from 6 to 10. (Fig. 20)

Choice fell on this question because it appeared to be the clearest one from the point of view of understanding, so the answers should be more accurate.

During data analysis anomalous values were detected. This could be caused by several reasons: difficulty in understanding the question, random answers, too positive answers.

In order to prevent these values from invalidating statistics, it was decided to proceed by calculating standard deviation both in wellness questionnaire (except for question number 5, used to discriminate children), and in that one relating to noise.

Afterwards, these results have been put in SPSS software to highlight outliers, through the box plots.



Fig 20. Happiness scale discriminating between happy and unhappy children

In this way 19 children were excluded from the complete sample of 208 subjects.

Of the remaining 189 subjects, 110 children attended school in classrooms classified with good acoustics and 79 children in those with bad acoustics.

A further division between happy and unhappy subjects identified 169 happy children, of which 99 were in good acoustics and 70 in bad acoustics, while unhappy children were only 20, of which 11 were in good acoustics and 9 were in bad acoustics.

### 4.3 Analysis of questionnaires results

A first important result was consistency of answers given by children in relation to measured values of classroom acoustics.

Considering all children, percentage of positive responses to perception of outside noise in the classroom was found to be higher in classrooms classified with good acoustics. (Chart 12) This stems from the fact that in presence of less noise within the classroom, students can better perceive outside noise.

But when asked about how much they were disturbed by such noises, students in classrooms with bad acoustics were more annoyed by traffic noise, sirens and in particular by technological sounds inside the Institute, for the latter ones was found a significant p value of 0,043. (Chart 13 following pages)

Extrapolating the noise from sirens, its perception was significantly higher in subjects in good acoustics, with a p value of 0,011 but students in bad acoustics were more disturbed, even if not in such a way to reach significance.

# Noise



### All subjects

Chart 12. Average of the answers to questions 1/2/3/4 A of the questionnaire on the noise of all subjects







Chart 14. Average of the answers to questions 7-8 of the questionnaire on the noise of all subjects

### Happy subjects

The same happens to the group of happy children, which shows a significance not only for disturbance from internal noise, with a p value of 0.015, but also for disturbance from traffic noise, with a p value of 0.028. (Chart 16 following pages)

Although a significance emerged with a p value of 0.014 indicating that children in good acoustics perceived more the noise of sirens, even in this case subjects in bad acoustics showed greater disturbance. (chart 15 following pages)





Chart 15. Average of the answers to questions 1/2/3/4 A of the questionnaire on the noise of happy subjects



Chart 16. Average of the answers to questions 1/2/3/4/5/6 B of the questionnaire on the noise of happy subjects



Chart 17. Average of the answers to questions 7-8 of the questionnaire on the noise of happy subjects

### Unhappy children

For unhappy children, an opposite trend has been recorded.

Although it was not possible to highlight a significance, also because of a too small sample, it was generally found that children in bad acoustics perceive noise more, but those in good acoustics are considerably more disturbed. (Chart 18-19)

As if a negative psychological aspect makes the former less affected by this type of disorder than the latter.



Chart 18. Average of the answers to questions 1/2/3/4 A of the questionnaire on the noise of unhappy subjects





Chart 19. Average of the answers to questions 1/2/3/4/5/6 B of the questionnaire on the noise of unhappy subjects



Chart 20. Average of the answers to questions 7-8 of the questionnaire on the noise of unhappy subjects

# Well-being

From the chart 21-22 on results of well-being, we note that serenity is parameter with highest average, expressing the most negative evaluation, corresponding to lack of serenity of the subjects.

The lowest value, meaning a more positive evaluation, is found, coherently, in case of happy children. (Chart 22)

In general, all values are clearly higher in unhappy subjects, whom presented a discomfort situation in all the aspects explored, with a greater distress detected in subjects in good acoustics. (Chart 23, following paqes)

Individual data, class by class, can be read in summary sheets attached to this essay.



### Happy subjects



Chart 22. Average of the answers of the well-being of happy subjects



### Unhappy subjects

Chart 23. Average of the answers of the well-being of unhappy subjects

# 4.4 Relationship between objective and subjective acoustic parameters

# 4.4.1 Regressions

As a result of the correlations between the acoustic data and the questionnaires, the following regressions were analysed:

- With increase in noise disturbance present when students are carrying out a task in silence, intelligibility of speech, in this case evaluated through the U<sub>50</sub>, decreases. (chart 24)
- noise present during a group activity in classroom presented a correlation, both as its perception and as a disturbance caused, with the slope of signal level. (chart 25-26 following pages). Specifically, when noise and related disturbance increase the slope increases, this expresses non-uniformity inside the classroom.
- The most important result that emerged from the correlations between well-being perception and acoustic data is represented by the regression serenity and noise level in group activities shows that when noise level increases, children's perception of serenity decreases. (Chart 27 page 59)



Chart 24. Regression between question 5B of noise questionnaire and average of  $U_{s_0}$ 



Chart 25. Regression between question 6A of noise questionnaire and slope of speech signal level  $(L_s)$ 



Chart 26. Regression between question 6B of noise questionnaire and slope of speech signal level (L<sub>s</sub>)



Chart 27. Regression between question 1B of well-being questionnaire and equivalent level of background noise in group activity

# CONCLUSION

Between 2016 and 2017 a survey was administrated to 208 first-graders on effect of classroom acoustics on subjective perceptions of well-being and noise, involving seven primary schools (12 classrooms in total) in the municipality of Turin.

The twelve classrooms under examination in these schools were different both in terms of acoustic characteristics, as in some cases they have had acoustic treatments, in terms of position and influence of external noise and in terms of geometric characteristics.

The study involved subjects in age group between 5 and 7 years and its objectives were the following:

- study of classrooms acoustics with in situ measurements;
- assessment of children's perception of wellbeing and noise assessed through the administration of questionnaires;
- relationship between acoustics of classrooms and perception of the subjects.

From the *acoustic analysis*, obtained from measurements carried out in each class by the research team, it is clear the need for an acoustic treatment because even classrooms that proved to be more suitable in their function of transmitting the word, have flaws that once solved could improve quality of learning.

Reverberation time, for example, despite reaching in 7 classes an acceptable value, lower than 1s, which is the threshold to discriminate classes between good and bad acoustics, only in one case reached optimal level.

This issue can result from the fact that examined schools are historical buildings in which no particular attention has been paid to acoustic design.

Regarding children's self-assessment of *well-being* emerge, from analysis of questionnaires:

- the serenity turned out to be the least positive aspect as it always recorded the highest average values compared to other questions, highlighting a tendency for children to feel little serene.
- for unhappy children there's a decrease in wellbeing with significantly higher average values found especially in good acoustics.

This issue seems to link to fact that a less disturbing environment amplifies a feeling of discomfort that instead is weakened in an environment already compromised.

A critical issue arose from contacts with both pupils and teachers for whom several presented questions were difficult to be understood for children of this age. In this regard, it will be necessary to work with new professionals to adapt the questionnaire and replace some terms.

Questions about perceived *noise*, disturbance and voice quality in the classroom were easier to understand. Although the children in good acoustics stated that they perceive more noises from traffic, rain and noises coming from inside, a consistency was found with measured acoustic parameters so that in non-optimal acoustics, where noise and reverberation recorded values were higher, the subjects were more disturbed, confirming the acoustic analysis.

- for happy children, the high disturbance caused by intrusive sounds from the same building in classes with poor acoustics was statistically significant
- for unhappy children there was clearly a higher disturbance in children in good acoustics.

A possible interpretation is that an unhappy child who is in a very noisy acoustic environment is less influenced by noise coming from outside. 5. Conclusion

It would therefore seem that unhappy children have a different perception of noise from outside the classroom, which, being better distinguished because of clarity of sounds, are more disturbing, causing a distraction of the subject.

In this questionnaire it's been difficult for children to answer to questions asking to rank perceived intensity of noise, in ranks like low, medium or high, as it was difficult for them to set a scale for evaluation.

It would therefore be advisable to re-elaborate these questions as previous ones, asking to state first if noise is perceived in group activities or in silence and then how much this creates disturbance.

Relationships between objective and subjective parameters, investigated through Pearson's and Spearman's correlations, after several tests including factorial analysis and linear mixed model, proved to be the most suitable method for this analysis.

Correlations highlighted a little influence of acoustics on well-being with some exceptions, for example is reported that **noise level** in group activities in classroom has been correlated with **serenity**: when noise level increases, serenity decreases.

This figure confirms a study carried out by Stansfeld & Haines<sup>8</sup>, in 1997, conducted on 8 schools exposed to different levels of airborne noise. They highlighted the influence of noise on stress and well-being.

The most important result obtained by correlation between perception of noise and acoustic parameters concerned noise **disturbance in silence**, resulting increased as **speech intelligibility** decreases, provoking, for example, difficulty of understanding a task explained by the teacher.

An important goal, both for the research and for design of classrooms in general, is to guarantee a suitable acoustics for the function, which in this case is listening to spoken word.

In the specific field of this research there have been cases in which lack of an acoustic treatment and sound

concentrations due to geometric conformation of the classroom, like presence of vaults, made the normal course of lessons difficult, especially in situations where T20 exceeded threshold of 1s.

Moreover, an effect that arises from this type of environment is "Lombard effect" or "Lombard reflex" which is an involuntary tendency of the speaker, caused by background noise preventing a person to clearly perceive his own words, to increase the intensity of voice thus creating even more disturbing circumstances.

It would be logical to think that the solution to this problem is to put sound-absorbing panels that are able to limit background noise and reverberation time and ensure optimal conditions for learning.

Since acoustic treatment is expensive, it is necessary to design classrooms considering that with geometric and structural characteristics only is possible to improve quality of listening.

As found in some cases, it should be avoidable to make holes in walls between classrooms, as for pipes and other plants. It's recommended to limit presence of noisy systems inside classrooms, to make sure that all doors and windows close perfectly and finally to have furniture, both mobile and fixed, that can contribute to sound absorption of the environment.

Aim should be to remove acoustic defects also due to space geometry, such as vaults, by integrating a system of **sound-absorbing** panels to limit noise, and **diffusing** panels to create spatial uniformity, ensuring optimal levels of speech intelligibility at all points of the classroom.

Design for schools is tending to provide **flexibility** of spaces, a concept that is becoming fundamental for educational places.

5. Conclusion

For this reason, is important to evaluate classroom performances in various foreseeable configurations, to make sure to implement an acoustic system that best suits all various needs.

Ultimately, the designer should pay attention to integration of acoustic treatment in order to create, for example with use of colours or shapes, a more stimulating environment for pupils.

In this way it would be easier to raise awareness on such a theme as acoustics still too undervalued.

BIBLIOGRAPHY

Bibliography

# **Bibliography and References**

Al-Lamki L., "Dyslexia. Its impact on the Individual, Parents and Society", Sultan Qaboos University Med J, August 2012, Vol. 12, Iss. 3, pp. 269-272

<sup>12</sup>Astolfi A., Pellerey F., "Subjective and Objective Assessment of Acoustical and Overall Environmental Quality in Secondary School Classrooms", The Journal of the Acoustical Society of America, 2007;

Astolfi A., Bottalico P., Barbato G., "Subjective and objective speech intelligibility investigations in primary school classrooms", The Journal of the Acoustical Society of America 131, 247, 2012;

Astolfi A., Puglisi G.E., Shtrepi L., Prato A., Sacchetti B., Sacco T., "Need of good classroom acoustics since the early childhood", 5th ASA/ASJ Joint Meeting – Fall Meeting, 2016;

Astolfi A., Puglisi G.E., Prato A., Sacco T., "Effetto della buona acustica sulle abilità di lettura dei bambini di seconda elementare", Associazione Italiana di Acustica, 44° Convegno Nazionale, Pavia, 7-9 giugno 2017;

Bradley J. S., Reich R.D., Norcross S.G., "On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility", Acoustical Society of America, 1999;

Bradley J.S., "Speech Intelligibility Studies in Classroom", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 80, No. 3, Settembre 1986;

Choi Y., Hillman T.R., Choi W., Lue N., Dasari R.R., So P.T., Choi W., Yaqoob Z., "Measurement of the time-resolved reflection matrix for enhancing light energy delivery into a scattering medium", National Institutes of Health, 2013;

Cortiella C., The Advocacy Institute Sheldon H. Horowitz, Ed.D., National Center for Learning Disabilities, "The State of Learning Disabilities Facts, Trends and Emerging Issues", National Center for Learning Disabilities, Third Edition, 2014;

<sup>1</sup>Crombie R., Clark C., Stansfeld., "Environmental noise exposure, early biological risk and mental health in nine to ten years old children: a cross-sectional field study", 2011;

DIRECTIVE 97/69/EC, Official Journal of the European Communities, 5 December 1997

<sup>20</sup>DIN 18041, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen (Acoustical quality in small to medium-sized rooms) (Deutsche Institut für Normung, Berlin, Germany, 2016;

<sup>10</sup>Dreger S., Meyer N., Fromme H., Bolte G., "Environmental noise and incident mental health problems: A prospective cohort study among school children in Germany", Environmental research, Volume 143, Part A, November 2015, pg 49-54;

Epsterin J.L., Mcpartland J.M., "The Concept and Measurement of the Quality of School Life", American Educational Research Journal, Vol. 13, No 1, Pp. 15-30, Winter 1976;

<sup>6</sup>Finke H.O., Guski R., Martin R., Rohrmann B., Schumer R. & Schumer-Kohrs A. "Effects of aircraft noise on man. Proceedings of the Symposium on Noise in Transportation", Section III, paper 1. Southampton: Institute of Sound and Vibration Research, Southampton, UK,1974;

Nijs L., Rychtáriková M, "Calculating the Optimum Re-

verberation Time and Absorption Coefficient for Good Speech Intelligibility in Classroom Design Using U50", Acta Acustica united with Acustica, 2011;

Goswami U., "Children's cognitive development and learning", Cambridge Primary Review Trust, 2015;

<sup>2</sup>Gray L.C., Breier J.I., Foorman B.R., Fletcher J.M., "Continuum of impulsiveness caused by auditory masking", 2002;

Hjortebjerg D., Nybo Andersen A.M., Schultz Christensen J., Ketzel M., Raaschou-Nielsen O., Sunyer J., Julvez J., Forns J., Sørensen M., "Exposure to Road Traffic Noise and Behavioral Problems in 7-Year-Old Children: A Cohort Study.", 2015;

IEC 60268-16, Sound system equipment — Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, (International Electrotechnical Commission), Agosto 2011;

Kim Y. H., Choi J. W., "Sound Visualization and Manipulation", Wiley, 2013;

Knecht H.A., Nelson P.B., Whitelaw G.M., Feth L.L., "Background noise levels and reverberation times in unoccupied classrooms: predictions and measurements.", 2002;

Kyle F. E., Cain K., "A comparison of deaf and hearing children's reading comprehension profiles", 2013;

Kyle F. E., Campbell R., MacSweeney M., "The relative contributions of speechreading and vocabulary to deaf and hearing children's reading ability", Research in Developmental Disabilities, Gennaio 2016;

Law J., Lee W., Roulstone S., Wren Y., Zeng B., Lindsay G., "'What Works': Interventions for children and young people with speech, language and communication needs", Department for Education, 2010;

Law J. M., Vandermosten M., Ghesquiere P., Wouters J., "The relationship of phonological ability, speech perception, and auditory perception in adults with dy-slexia", National Institutes of Health, 2014;

Law J. M., Vandermosten M., Ghesquiere P., Wouters J., "Predicting Future Reading Problems Based on Pre-reading Auditory Measures: A Longitudinal Study of Children with a Familial Risk of Dyslexia", National Institutes of Health, 2017;

Leong V., Hämäläinen J., Soltész F., Goswami H., "Rise time perception and detection of syllable stress in adults with developmental dyslexia", Journal of Memory and Language, 2010;

Lyytinen H., Erskine J., Hämäläinen J., Torppa M., Ronimus M., "Dyslexia — Early Identification and Prevention: Highlights from the Jyväskylä Longitudinal Study of Dyslexia", developmental dyslexia (tn wydell, section editor), 16 Ottobre 2015;

<sup>9</sup>Makopa Kenda I., Agoub M., Ahami A.O., "Noise Effects on Mental Health: a review of literature", Santé mentale au Québec, Volume 39, numero 2, autunno 2014, pag. 169-18;

Mathes P.G., Denton C.A., Fletcher J.M., Anthony J.L., Francis D.J., "The effects of theoretically different instruction and student characteristics on the skills of struggling readers", International Reading Association, 2005;

Marilyn Vihman M., Croft W., "Phonological development: toward a "radical" templatic phonology", linguistics, 2007;

# Bibliography

<sup>4</sup>Minelli G., "*Acoustics in classrooms and cognitive abilities: a longitudinal study on first grade children*", tesi di laurea magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2016-2017, relatore Astolfi A;

<sup>5</sup>OPCS, "Second survey of aircraft noise annoyance around London (Heathrow) Airport.", London: HMSO, 1971;

Ozernov-Palchik O., Nadine Gaab, "Tackling the 'dyslexia paradox': reading brain and behavior for early markers of developmental dyslexia", Wiley, 2 Febbraio 2016;

<sup>3</sup>Paonessa S., "*Effects of schoolroom acoustics on cognitive abilities in first grade children*", tesi di laurea magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2016-2017, relatore Astolfi A;

Puglisi G.E., Cantor Cutiva L.C., Pavese L., Castellana A., Bona M., Fasolis S., Lorenzatti V., Carullo A., Burdorf A., Bronuzzi F., Astolfi A., Acoustic comfort in high-school classrooms for students and teachers, 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015;

Pelegrin-Garcia D., Ryctàrikovà M., Glorieux C., "Local variations of speaker-oriented acoustic parameters in typical classrooms: a simulation study", 2015;

Peterson R.L., Pennington B.F., "Developmental dyslexia", Lancet, 26 Maggio 2016;

Picard Michel & Bradley John S., "Revisiting Speech Interference in Classrooms", Audiology, 40:5, 221-244, 2001;

Pierrehumbert J. B., "Phonetic Diversity, Statistical Learning, and Acquisition of Phonology", language and speech, 2003; Prodi N., Visentin C., Feletti A., "On the perception of speech in primary school classrooms: Ranking of noise interference and of age influence", The Journal of the Acoustical Society of America, 2013;

Puglisi G.E., Astolfi A., Cantor Cutiva L.C., Carullo A., "Four-day-follow-up study on the voice monitoring of primary school teachers: Relationships with conversational task and classroom acoustics", Acoustical Society of America, 20 Gennaio 2017;

REGULATION (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008, Official Journal of the European Union, 2008;

Richarchardson J. T.E., Wydell T. N., "The representation and attainment of students with dyslexia in UK higher education", Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 2003;

Richardson U., Lyytinen H., "The Graphogame method: the theoretical and methodological background of the technology-enhanced learning environment for learning to read", Human Technology, Maggio 2014;

Riley K. G., McGregor K.K., "Noise Hampers Children's Expressive Word Learning", Language, Speech, and Hearing Services in Schools, luglio 2012;

<sup>14</sup>Sabri F., Rotheroe A., Kazimirski A., "Measuring the well-being of young people with special educational needs", NPC, 2015;

Scannell L., Hodgson M., García Moreno Villarreal J., Gifford R., "The Role of Acoustics in the Perceived Suitability of, and Well-Being in, Informal Learning Spaces", Environment and Behavior 2016, Vol. 48(6) 769–795;

Shaywitz S.E., Morris R., Shaywitz B. A., "The Edu-

cation of Dyslexic Children from Childhood to Young Adulthood", The Annual Review of Psychology, 17 Agosto 2007;

11Shield B., Dockrell J., "Acoustical barriers in classrooms: the impact of noise on performance in the classroom", Wiley, 2006;

Shield B., Dockrell J., "The effects of classroom and environmental noise on children's academic performance", 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008;

<sup>5</sup>Stansfeld S.A., Haines M.M., Burr M., Berry B., Lercher P., "A review of environmental noise and mental healt", 2000;

<sup>8</sup>Stansfeld S.A. "Sensitivity to noise: source of error or stable personal characteristic? In 'II rumore urbano e el governo del territorio" (Editor P Zaniol) Atti, Modena pp 57-64, 1997;

Tanner E., Brown A., Day N., Kotecha M., Low N., Morrell G., Turczuk O., Brown V., Collingwood A., Chowdry H., Greaves E., Harrison C., Johnson G., Purdon S., "Evaluation of Every Child a Reader (ECaR)", Department for Education, 26 Maggio 2011;

<sup>7</sup>Tarnopolsky A, Barker SM, Wiggins RG, McLean EK "The effect of aircraft noise on the mental health of a community sample: a pilot study", Psychological Medicine 8, 219-233, 1978;

Torgesen J. K., "Remedial Interventions for Students with Dyslexia: National Goals and Current", Florida Center for Reading Research at Florida State University,2005;

Torgesen J. K., "Individual Differences in Response to Early Interventions in Reading: The Lingering Problem of Treatment Resisters", Florida State University, 2000.

<sup>15</sup>UNI 11367, Classificazione acustica delle unità immobiliari (Acoustical classification in building units) (Ente Italiano di Normazione, Milano, 2010;

<sup>16</sup>UNI 11532-1:2018, Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati — Metodi di progettazione e tecniche di valutazione — Parte 1: Requisiti generali, Marzo 2018;

<sup>19</sup>UNI EN ISO 3382-1, Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces, International Organization for Standardization, Giugno 2009;

<sup>17</sup>WSP, Acoustic Design in Schools: Performance Standards Building Bulletin, BB93 (Department for Education and the Educational Funding Agency, London, 2015), 1 Gennaio 2001, aggiornata: 19 Dicembre 2004;
# ATTACHMENTS

tachements	Summary report CLASS 1A Roberto D'AZEGLIO Primary School	77
	Summary report CLASS 1B Roberto D'AZEGLIO Primary School	84
	Summary report CLASS 1C Roberto D'AZEGLIO Primary School	91
	Summary report CLASS 1D San Giovanni BOSCO Primary School	98
	Summary report CLASS 1 M. Lessona Primary School, branch of FIOCHETTO	105
	Summary report CLASS 1B Leone FONTANA Primary School	112
	Summary report CLASS 1C Leone FONTANA Primary School	119
	Summary report CLASS 1D RAYNERI Primary School	126
	Summary report CLASS 1E RAYNERI Primary School	133
	Summary report CLASS 1A Ludovico Antonio MURATORI Primary School	140
	Summary report CLASS 1B Ludovico Antonio MURATORI Primary School	147
	Summary report CLASS 1 San GIACOMO Primary School	154

A

# Scuola Primaria Roberto D'Azeglio Classe 1A



**REPORT ACUSTICO** 











77

# DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1A della scuola elementare Roberto D'Azeglio (TO), in via Santorre di Santarosa 11, si trova al piano primo del complesso e si affaccia sul cortile interno.

L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a 43 m<sup>3</sup> (5,25 x 8,19 m), un'altezza media di circa 4,52 m ed un volume pari a 194,30 m<sup>3</sup>.

Le pareti perimetrali sono in muratura intonacate, delle quali due, tra loro adiacenti, raggiungono un'altezza di 2,70 m, sopra cui è collocata una striscia continua vetrata alta circa 1,82 m. Un elemento metallico taglia trasversalmente metà dell'aula (probabilmente testimone di una differente suddivisione degli spazi in passato). Il solaio è in piastrelle di cotto ed il soffitto è rivestito con pannelli di gesso forato intervallati da plafoniere, che segnalano un precedente trattamento acustico, così come i pannelli assorbenti disposti su tre lati della classe. Le due porte di accesso all'aula (2,10 x 0,90 m) sono in legno e a singolo battente, mentre le due finestre (3,45 x 2,61 m) hanno struttura in acciaio ed oscuramento a lamelle mobili interne.

Gli arredi consistono in 15 banchi e sedie in legno per bambini, due librerie ed un armadio in alluminio, una lavagna bianca, due cattedre in legno e due sedie imbottite per le insegnanti.





# DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula, ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra. Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in tre punti (1, 2, 3), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e in un punto decentrato in ultima fila (4). Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

# PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore ( $L_N$ ) si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50.0.5.1 kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio,*  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*,  $SNR_A$  [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250.2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

# RISULTATI MISURAZIONI

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

### DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



CHIAREZZA	Param	etro	Valore [dB]		Valore ottimale [dB]	Rif. normativo				
	C <sub>50, 0,5</sub> . Punto C <sub>50, 0,5</sub> . Punto C <sub>50, 0,5</sub> . Punto C <sub>50, 0,5</sub> . Punto C <sub>50, 0,5</sub> .	1 kHz Rif <sub>1</sub> 1 kHz 1 kHz 2 1 1 kHz 3 3	6,33 (dev. st. 0,17 2,77 (dev. st. 0,22 0,99 (dev. st. 0,16) -0,14 (dev. st. 0,22 1,57	)	≥ 0	UNI . 11367*				
<b>ΒΛΡΡΩΡΤΟ</b>	Punto	) 4		1_				Valore		
SEGNALE	Param	etro	Valore [dB]		Parametr	o Valore [dB]	•   (	ttimale [dB]	R	if.
	L <sub>s</sub> Punto	Rif <sub>1</sub>	61,3		SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	9,6				
5.	L <sub>s</sub> Punte	51	57,1		SNR <sub>A</sub> Punto 1	5,4			Picard	
	L <sub>s</sub> Punto	2	57,2		SNR <sub>A</sub> Punto 2	5,5		≥15	and Bradley	nd nd
	L <sub>s</sub> Punto	53	56,3 55,6		SNR <sub>A</sub> Punto 3	4,6	4,6		(2001)	
	L <sub>s</sub> Punte	4			SNR <sub>A</sub> Punto 4	5,8				
TEMPO DI RIVERBERAZIONE		P	arametro		Valore medio [s]	Valor ottima [s]	re ale	Rif.		
		T <sub>20</sub>	), 0,250-2 kHz,occ	(	<b>0,88</b> (dev. st. 0,11)	0,56	)	DIN 18 04	I 11	
		T <sub>20</sub>	), 0,5-1 kHz, unocc	(	<b>0,95</b> (dev. st. 0,04)	0,76	)	UN 1136	I 57 <sup>*</sup>	

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

# QUESTIONARI





Scuola Primaria Roberto D'Azeglio Classe 1A

3

4

5

6

**REPORT ACUSTICO** 

# RUMORE

Quando sei in classe senti ...



Quando sei in classe ..



Come senti la voce della maestra se..





Quando sei in classe..



Come senti la voce del tuo compagno se..





# Scuola Primaria Roberto D'Azeglio Classe 1B



23 Maggio 2017

18 bambini



Via Santorre di Santarosa 11, 10131 Torino



Fondazione ( CRT

io) ascolto

**REPORT ACUSTICO** 

POLITECNICO DI TORINO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

INRIM ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA



# DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1B della scuola elementare Roberto D'Azeglio (T0), in via Santorre di Santarosa 11, si trova al piano primo del complesso e si affaccia su strada (poco trafficata). L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a 49,31 m<sup>2</sup> (6,05 x 8,15 m), un'altezza media di circa 5,30 m ed un volume pari a 261,33 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali sono in muratura intonacate e per buona parte rivestite da pannelli assorbenti che segnalano un precedente trattamento acustico, il soffitto è caratterizzato da una volta a botte ribassata ed il pavimento è in piastrelle di cotto. Lungo il lato adiacente al corridoio vi sono due aperture: la porta di accesso all'aula (1,24 x 2,10 m) che è a doppio battente in legno con sopraluce in vetro, ed un ulteriore sopraluce (1,24 x 0,72 m) collocato a 2,50 m da terra. Sulla parete opposta, le tre finestre (1,94 x 3,93 m) hanno struttura in legno ed oscuramento a lamelle mobili interne. Gli arredi consistono in diciotto banchi e sedie in legno per bambini, tre librerie e due armadi in alluminio, un armadio a muro con ante in legno, uno schermo avvolgibile usato come lavagna, due cattedre e due sedie in legno per gli insegnanti.

N.B.: l'aula presenta un problema di rimbombo dovuto alla morfologia spaziale dello spazio. In particolare la cattedra, cioè il punto in cui si colloca la maestra per fare lezione durante la maggior parte del tempo, e quindi la sorgente sonora, è situata nel fuoco della stanza e ciò crea un fastidioso fenomeno di rimbombo. Per risolvere il problema potrebbe essere sufficiente spostare la cattedra sul lato opposto, lungo lo stesso asse longitudinale, proprio come accade nelle altre classi dell'istituto con simile conformazione. Ció è dovuto al fatto che il soffitto ha una parte voltata ed una meno, e se la parte voltata si trova in corrispondenza della maestra si sente eco.





# DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caraterizzare acusticamente l'aula, ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra. Invece il fonometro, che la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in tre punti (1, 2, 3), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e in un punto decentrato in ultima fila (4). Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.





Talkbox

Clappatore

85

Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

# PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore  $(L_N)$  si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50.0.5.1 kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio*,  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*,  $SNR_A$  [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250-2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

# **RISULTATI MISURAZIONI**

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

# DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



CHIAREZZA		Paran	ne	tro	Valore [dB]		Valore ottimale [dB]	n	Rif. ormativo									
		C <sub>50, 0,5</sub> Punto C <sub>50, 0,5</sub>	5-1 R	kHz if <sub>1</sub>	6,45 (dev. st. 0,07) 1,57													
		Punt C <sub>50, 0,5</sub>	.0 ] 5-1	L kHz	(dev. st. 0,01) -0,04		> 0		UNI *									
		Punt C <sub>50, 0,5</sub> Punt	0 2 5-1	2 kHz 3	(dev. st. 0,28) 4,00 (dev. st. 0,13)		20		11367									
		C <sub>50, 0,5</sub> Punt	5-1 0 4	kHz 4	<b>3,29</b> (dev. st. 0,52)													
RAPPORTO SEGNALE RUMORE		Parametro		Valore [dB]		Parametro	o	Valore [dB]	0	Valore ttimale [dB]	R	if.						
		L Punto	s R	if <sub>1</sub>	61,2		SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>		12,3									
5.		L Punt	s :0 :	1	58,0		SNR <sub>A</sub> Punto 1		9,1			Picard						
									L <sub>s</sub> Punto		2	56,8		SNR <sub>A</sub> Punto 2		7,8		≥15
		L <sub>s</sub> Punto		3	54,9		SNR <sub>A</sub> Punto 3		6,0			(20	(10)					
		L Punt	S :0 4	4	54,4		SNR <sub>A</sub> Punto 4		5,5									
TEMPO DI RIVERBERAZIONE		Pa	arametro		Valore medio [s]		Valore ottimale [s]		Rif.									
			T <sub>20</sub>	T <sub>20, 0,250-2 kHz,occ</sub>		<b>0,92</b> (dev. st. 0,18)		0,60		DIN 18 041								
		T <sub>20</sub>	, 0,5-1 kHz, unocc		<b>0,77</b> (dev. st. 0,06	,	0,80		UNI 1136	7*								

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

# QUESTIONARI

# INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



# BENESSERE

Quanto sei d'accordo con queste affermazioni..



# RUMORE

Quando sei in classe senti..



56%44%PocoAbbastanzaImage: Constraint of the second second

Quando sei in classe ..



Come senti la voce della maestra se..



Quando sei in classe..



54% 7% 2 Poco Abbastanza

0

.

Molto

Come senti la voce del tuo compagno se..



Scuola Primaria Roberto D'Azeglio Classe 1B

# Scuola Primaria Roberto D'Azeglio Classe 1C



23 Maggio 2017

19 bambini



Via Santorre di Santarosa 11, 10131 Torino





# DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1C della scuola elementare Roberto D'Azeglio (TO), in via Santorre di Santarosa 11, si trova al piano primo del complesso e si affaccia su strada (poco trafficata). L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a 53,36 m<sup>2</sup> (6,50 x 8,21 m), un'altezza media di circa 5,30 m ed un volume pari a 282,83 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali sono in muratura intonacate e per buona parte rivestite da pannelli assorbenti che segnalano un precedente trattamento acustico, il soffitto è caratterizzato da una volta a botte ribassata ed il pavimento è in piastrelle di cotto. Lungo il lato adiacente al corridoio vi sono due aperture: la porta di accesso all'aula (1,24 x 2,10 m) che è a doppio battente in legno con sopraluce in vetro, ed un ulteriore sopraluce (1,24 x 0,72 m) collocato a 2,50 m da terra. Sulla parete opposta, le due finestre (1,94 x 3,93 m) hanno struttura in legno ed oscuramento a lamelle mobili interne. Gli arredi consistono in venti banchi e sedie in legno per bambini, due armadi in alluminio, un armadio a muro con ante in legno, quattro librerie in legno di circa 1 m di altezza, una lavagna bianca, due cattedre in legno e tre sedie di diversi materiali per gli insegnanti.



# DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula, ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra. Invece il fonometro, che la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in tre punti (1, 2, 3), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e in un punto decentrato in ultima fila (4). Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

# PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore ( $L_N$ ) si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50.0.5.1 kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio,*  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*,  $SNR_A$  [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250.2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

# RISULTATI MISURAZIONI

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

# DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



CHIAREZZA	Par	ametro	Valore [dB]		Valore ottimale [dB]	Rif. normativo				
	C <sub>50</sub> Pui C <sub>50</sub> Pi C <sub>50</sub> Pi C <sub>50</sub> Pi C <sub>50</sub>	, 0,5-1 kHz nto Rif <sub>1</sub> , 0,5-1 kHz unto 1 , 0,5-1 kHz unto 2 , 0,5-1 kHz unto 3 , 0,5-1 kHz unto 4	8,54 (dev. st. 0,12) 3,99 (dev. st. 0,40) 5,14 (dev. st. 0,30) 4,14 (dev. st. 0,14) 2,97 (dev. st. 0,25)	$\begin{array}{c c} 8,54 \\ 8,54 \\ 3,99 \\ 8.5,14 \\ 5,14 \\ 8.5,14 \\ 11367^* \\ 4,14 \\ 8.5,10,14) \\ 2,97 \\ 8.5,10,25) \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$						
RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Para	ametro	Valore [dB]		Parametro	Valore [dB]	0	Valore ttimale [dB]	R	if.
	Pu	L <sub>s</sub> nto Rif <sub>1</sub>	60,3	1	SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	21,9				
5.	Р	L <sub>s</sub> unto 1	57,8		SNR <sub>A</sub> Punto 1	19,4			Picard	
	Р	L <sub>s</sub> unto 2	55,9		SNR <sub>A</sub> Punto 2	17,5		≥15	Bra	nd dley
	Р	L <sub>s</sub> unto 3	55,2		SNR <sub>A</sub> Punto 3	16,8			(2001)	)01)
	Р	L <sub>s</sub> unto 4	53,4		SNR <sub>A</sub> Punto 4	15,0				
TEMPO DI RIVERBERAZIONE		E Pa	arametro		Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	è	Rif.		
		T <sub>20</sub>	, 0,250-2 kHz,occ	(	<b>0,77</b> (dev. st. 0,06)	0,61		DIN 18 04	1	
		T <sub>20</sub>	, 0,5-1 kHz, unocc	(	<b>0,76</b> (dev. st. 0,05)	0,81		UN 1136	<sup>[</sup> 7 <sup>*</sup>	

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

# QUESTIONARI

# INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



# BENESSERE

Quanto sei d'accordo con queste affermazioni..



REPORT ACUSTICO

Scuola Primaria Roberto D'Azeglio Classe 1C

# RUMORE

### Quando sei in classe senti..

Il rumore del traffico?







Suoni di televisori, radio o registratori provenienti da altre aule o dal corridoio?



Il rumore della pioggia se all'ester<u>no</u> piove?

37%

63%

Sì



Quando sei in classe ..



Come senti la voce della maestra se..



Quando sei in classe ..



Come senti la voce del tuo compagno se..



# Scuola Primaria San Giovanni Bosco Classe 1

16 Maggio 2017

22 bambini





REPORT ACUSTICO



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO INRIM ISTITUTO NAZIONA DI RICERU METROLO

Fondazione §

ascolto

CRT

# DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1 della scuola primaria San Giovanni Bosco (TO), in via Luciano Manara 10, si trova al piano primo del complesso e si affaccia sulla strada (poco trafficata). L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a 51,58 m<sup>2</sup> (6,48 x 7,96 m), un'altezza media di circa 3,94 m ed un volume pari a 203,23 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali sono in muratura intonacate, il pavimento è in piastrelle alla veneziana, mentre il soffitto è rivestito con pannelli di gesso forato. Lungo il lato adiacente al corridoio vi sono due aperture: la porta di accesso all'aula (1,08 x 2,10 m) che è a singolo battente in legno, bucata da un pannello in vetro per buona parte della sua dimensione, al di sopra di cui vi è un sopraluce in vetro, e una finestrella (1,08 x 0,85 m) collocata a 2,50 m da terra. Sulla parete opposta, le tre finestre (1,14 x 2,68 m) hanno struttura in legno ed oscuramento a lamelle mobili interne. Gli arredi consistono in ventidue banchi e sedie in legno per bambini, un armadio in alluminio ed uno incassato nella parete con porta in legno, due librerie in alluminio, una libreria in legno alta circa 1 m, uno scaffale in metallo di circa 1 m di altezza, due lavagne bianche ed una nera, due cattedre e due sedie in legno per gli insegnanti.



# DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula , ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra ( $S_1$ ) e in una seconda posizione sul lato lungo dell'aula ( $S_2$ ). Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in tre punti (1, 2, 3), più quello di riferimento (Rif\_1), posti in asse con la sorgente e un punto decentrato in ultima fila (6), per le misure eseguite con la sorgente posizionata nel punto  $S_1$ ; e in ulteriori due punti (2, 4), più quello di riferimento (Rif\_2), posti in asse con la sorgente e nel punto decentrato (6), per le misure eseguite con la sorgente posta in  $S_2$ . Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

# PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore ( $L_N$ ) si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50,0,5-1,kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio*,  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*, SNR<sub>A</sub> [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250-2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

# **RISULTATI MISURAZIONI**

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

# DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



CHIAREZZA	Parametro		Valore [dB]	Ρ	arametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
		0, 0,5-1 kHz Into Rif <sub>1</sub>	<b>13,44</b> (dev. st. 0,03)	2	С <sub>50, 0,5-1 кНz</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	13,30 (dev. st. 0,06)		
<u> </u>	ULL C 50	0, 0,5-1 kHz Punto 1	9,00	NTE	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 2	<b>9,14</b> (dev. st. 0,05)	> 0	UNI
		0, 0,5-1 kHz Punto 3	<sup>1z</sup> 5,61 5,61 C	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 4	<b>7,02</b> (dev. st. 0,33)	- •	11367*	
		0, 0,5-1 kHz <b>Punto 6</b>	<b>8,48</b> (dev. st. 0,11)	S	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 6	<b>6,79</b> (dev. st. 0,09)		

RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Р	arametro	Valore [dB]	P	arametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
		$L_{S}$ Punto Rif <sub>1</sub>	60,8		$SNR_{A}$ Punto Rif <sub>1</sub>	11,5		
5.	1	L <sub>s</sub> Punto 1	60,7	11	SNR <sub>A</sub> Punto 1	11,4		
	GENT	L <sub>s</sub> Punto 2	54,9	GENT	SNR <sub>A</sub> Punto 2	5,6		
	SOR	L <sub>s</sub> Punto 3	56,4	SOR	SNR <sub>A</sub> Punto 3	7,1		
		L <sub>s</sub> Punto 6	55,1		SNR <sub>A</sub> Punto 6	5,8	≥15	Picard and Bradley (2001)
		L <sub>S</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	61,1		SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	11,8		
<u> </u>	NTE 2	L <sub>s</sub> Punto 2	57,3 H	SNR <sub>A</sub> Punto 2	8,0			
	ORGE	L <sub>s</sub> Punto 4	55,6	ORGE	SNR <sub>A</sub> Punto 4	6,3		
	S	L <sub>s</sub> Punto 6	54,8		SNR <sub>A</sub> Punto 6	5,5		

TEMPO DI RIVERBERAZIONE	Parametro	Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	Rif.
	T <sub>20, 0,250-2 kHz,occ</sub>	<b>0,53</b> (dev. st. 0,05)	0,57	DIN 18 041
<u>б</u>	T <sub>20, 0,5-1 kHz, unocc</sub>	<b>0,59</b> (dev. st. 0,07)	0,77	UNI * 11367 <sup>*</sup>

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

# QUESTIONARI

# INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



# BENESSERE

Quanto sei d'accordo con queste affermazioni ...



# RUMORE







Come senti la voce della maestra se..



Come senti la voce del tuo compagno se..

Alto

ո



8

Medio

Basso

14%

Poco Abbastanza Molto

(:)

20

# Scuola Primaria Michele Lessona Succursale di Via Fiochetto Classe 1



19 Maggio 2017

12 bambini



Via Gianfrancesco Fiochetto 29, 10152 Torino



# DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1 della succursale della scuola primaria Michele Lessona (T0), in Via Gianfranco Fiochetto, si trova al piano primo del complesso e si affaccia sulla strada. L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a 41,10 m<sup>2</sup> (5,78 x 7,11 m), un'altezza media di circa 2,98 m ed un volume pari a 122,46 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali ed il soffitto sono in muratura intonacati, il pavimento è alla veneziana. Lungo il lato adiacente al corridoio vi è la porta di accesso all'aula (0,96 x 2,10 m) a singolo battente in materiale plastico. Sulla parete opposta, le tre finestre (1,25 x 1,72 m) hanno struttura in acciaio ed oscuramento a lamelle mobili interne.

Gli arredi consistono in tredici banchi e sedie in legno per bambini, tre armadi in alluminio, tre scaffali in alluminio alti circa 1 m, due lavagne nere, una cattedra e due sedie per gli insegnanti.





# DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula , ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra ( $S_1$ ) e in una seconda posizione sul lato lungo dell'aula ( $S_2$ ). Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in due punti (1, 2), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e un punto decentrato in ultima fila (4), per le misure eseguite con la sorgente posizionata nel punto  $S_1$ ; e in ulteriori due punti (1, 3), più quello di riferimento (Rif<sub>2</sub>), posti in asse con la sorgente e nel punto decentrato (4), per le misure eseguite con la sorgente posizionata nel punto  $S_1$ ; e in ulteriori due punti (1, 3), più quello di riferimento (Rif<sub>2</sub>), posti in asse con la sorgente e nel punto decentrato (4), per le misure eseguite con la sorgente posta in  $S_2$ . Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Scuola Primaria Michele Lessona Succursale di Via Fiochetto Classe 1

Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

# PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore ( $L_N$ ) si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50.0.5.1 kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio,*  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*,  $SNR_A$  [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250.2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

# RISULTATI MISURAZIONI

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

### DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



# **RISULTATI MISURAZIONI**

LIVELLO DI RUMORE		Parametro	Valore medio [dB]	Parametro	Valore medio [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	Attività di gruppo		46,1		62,2	-	-
	Attività libera		59,9		75,2	-	-
		L <sub>A90</sub>	<b>39,0</b> (dev. st. 1,4)	L <sub>Aeq</sub>	49,3 (dev. st. 0,2)	-	-
<b>6</b>			30,5 (dev. st. 0,6)		38,4 (dev. st. 1,0)	< 40	BB93

U <sub>50</sub>	Parametro	Valore [dB]	Parame	etro Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.	
	U <sub>50,0,5-1 kHz</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	6,0	U <sub>50,0</sub> Punto	5-1 kHz 5,1			
<u> </u>	U <sub>50,0,5-1 kHz</sub> Punto 1	1,9	U50, 0, Pun	5-1 kHz 4,4	>1	UNI 11367	
	U 50, 0,5-1 kHz Punto 2	2,9	080 080 Pun	5-1 kHz <b>3,5</b>	<u> </u>		
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 4	1,8	∽ U <sub>50,0,</sub> Pun	5-1 kHz <b>0,0</b>			
CHIAREZZA	Parametro	Valore [dB]	Valore [dB] Parametro		Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
-----------	--	--------------------------------	--------------------------	--	--------------------------------	----------------------------	---------------
	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	<b>6,98</b> (dev. st. 0,17)	5	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	<b>5,96</b> (dev. st. 1,55)		
	L C 50, 0,5-1 kHz Punto 1	<b>2,84</b> (dev. st. 0,43)	ORGENTE	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 1	<b>5,74</b> (dev. st. 1,13)	$23) \ge 0$	UNI 11367*
	<b>B</b> <b>D</b> <b>D</b> <b>D</b> <b>D</b> <b>D</b> <b>D</b> <b>D</b> <b>D</b> <b>D</b> <b>D</b>	4,22 (dev. st. 0,01)		C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 3	5,11 (dev. st. 0,69)		
	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 4	2,96 (dev. st. 0,23)	S	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 4	1,19 (dev. st. 2,26)		

RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Р	arametro	Valore [dB]	P	arametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	1	$L_{S}$ Punto Rif <sub>1</sub>	62,8		SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	13,6		
5.	ENTE	L <sub>s</sub> Punto 1	60,2	ENTE	SNR <sub>A</sub> Punto 1	11,0	- - ≥15 -	Picard and Bradley (2001)
	ORGE	L <sub>s</sub> Punto 2	59,4	ORGE	SNR <sub>A</sub> Punto 2	10,2		
		L <sub>s</sub> Punto 4	59,2		SNR <sub>A</sub> Punto 4	10,0		
		L <sub>S</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	62,9		SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	13,7		
	NTE 2	L <sub>s</sub> Punto 1	60,6	NTE 2	SNR <sub>A</sub> Punto 1	11,4		
	ORGE	L <sub>s</sub> Punto 3	58,9	ORGE	SNR <sub>A</sub> Punto 3	9,7		
	Š	L <sub>s</sub> Punto 4	58,1	Š	SNR <sub>A</sub> Punto 4	8,9		

TEMPO DI RIVERBERAZIONE	Parametro	Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	Rif.
	T <sub>20, 0,250-2 kHz,occ</sub>	<b>0,76</b> (dev. st. 0,12)	0,50	DIN 18 041
<b>6</b>	T <sub>20, 0,5-1 kHz, unocc</sub>	<b>0,84</b> (dev. st. 0,03)	0,70	UNI 11367 <sup>*</sup>

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

## QUESTIONARI

### INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



### RUMORE







Come senti la voce della maestra se..





Come senti la voce del tuo compagno se..



## Scuola Primaria Leone Fontana Classe 1B



22 Maggio 2017

18 bambini

Via Michele Buniva 19, 10124 Torino



INRIM ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA

Fondazione g

CRT

ascolto

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO



### DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1B della scuola elementare Leone Fontana (T0), in via Michele Buniva 19, si trova al piano primo del complesso e si affaccia su strada. L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a 54,38 m<sup>2</sup> (6,60 x 8,24 m), un'altezza media di circa 4,69 m ed un volume pari a 255,06 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali sono in muratura intonacate, il soffitto è voltato, mentre il pavimento è in piastrelle alla veneziana. Lungo il lato adiacente al corridoio vi è la porta di accesso all'aula (1,04 x 2,10 m) a singolo battente in materiale plastico e con sopraluce in vetro. Sulla parete opposta, le tre finestre (1,38 x 2,77 m) hanno struttura in acciaio ed oscuramento a tapparelle avvolgibili esterne con cassonetto interno. Gli arredi consistono in diciannove banchi e sedie in legno per bambini, un armadio in alluminio ed uno incassato nella parete con porta in plastica, una libreria di circa 2 m di altezza e altre tre di 1 m, due lavagne nere, una cattedra e una sedia imbottita per gli insegnanti.



#### DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula, ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra. Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in tre punti (1, 2, 3), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e in un punto decentrato in ultima fila (4). Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

#### PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore  $(L_N)$  si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50,0,5,1,kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio*,  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*,  $SNR_A$  [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250-2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

#### RISULTATI MISURAZIONI

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

#### DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



**REPORT ACUSTICO** 

\*NORMA ITALIANA COGENTE Scuola Primaria Leone Fontana

CHIAREZZA	Par	ametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif. normativo				
	C <sub>50,</sub> Pur C <sub>50,</sub>	, 0,5-1 kHz nto Rif <sub>1</sub> , 0,5-1 kHz	4,39 (dev. st. 0,08 -0,04	2					
	C <sub>50,</sub> Pi	, 0,5-1 kHz unto 2	-0,62 (dev. st. 0,03)	≥ 0	UNI * 11367 <sup>*</sup>				
	C <sub>50,</sub> Pi	, 0,5-1 kHz unto <b>3</b>	1,31 (dev. st. 1,01)	)					
	С <sub>50,</sub> Рі	, 0,5-1 kHz unto 4	-0,65 (dev. st. 0,44)	)					
RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Para	ametro	Valore [dB]	Parametr	o Valore [dB]	0	Valore ttimale [dB]	R	if.
	Pu	$L_{S}$ nto Rif <sub>1</sub>	63,0	SNR <sub>A</sub> Punto Rif	11,8				
5.	L <sub>S</sub> Punto 3 L <sub>S</sub> Punto 2	L <sub>s</sub> unto 1	58,4	SNR <sub>A</sub> Punto 1	7,2			Dic	ard
		L <sub>s</sub> unto 2	57,7	SNR <sub>A</sub> Punto 2	6,5		≥15	a Bra	nd dley
	Р	L <sub>s</sub> unto 3	59,1	SNR <sub>A</sub> Punto 3	7,9			(20	)01)
	Р	L <sub>s</sub> unto 4	56,8	SNR <sub>A</sub> Punto 4	5,6				
TEMPO DI RIVERBERAZIONE		E	arametro	Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	<u>•</u>	Rif.	R.	
		T <sub>20</sub>	), 0,250-2 kHz,occ	<b>1,20</b> (dev. st. 0,31	0,60		DIN 18 04	 <del>1</del> 1	
		), 0,5-1 kHz, unocc	<b>1,41</b> (dev. st. 0,06	) 0,80		UN 1136	[ 7		

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

## QUESTIONARI

## INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE





## RUMORE

#### Quando sei in classe senti ...











Se Sì, quanto di disturba questo rumore?

45°

Poco Abbastanza Molto





Come senti la voce della maestra se..



Quando sei in classe ..



Come senti la voce del tuo compagno se..



Scuola Primaria Leone Fontana Classe 1B

## Scuola Primaria Leone Fontana Classe 1C



22 Maggio 2017

21 bambini

Via Michele Buniva 19, 10124 Torino



REPORT ACUSTICO













ascolto

### DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1C della scuola elementare Leone Fontana (TO), in via Michele Buniva 19, si trova al piano primo del complesso e si affaccia sul cortile interno. L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a  $52,19 \text{ m}^2$  ( $6,54 \times 7,98 \text{ m}$ ), un'altezza media di circa 4,82 m ed un volume pari a  $251,55 \text{ m}^3$ . Le pareti perimetrali sono in muratura intonacate, il soffitto piano vede la presenza di tre travi, mentre il pavimento è in piastrelle alla veneziana. Lungo il lato adiacente al corridoio vi è la porta di accesso all'aula ( $1,02 \times 2,10 \text{ m}$ ) a singolo battente in materiale plastico e con sopraluce in vetro. Sulla parete opposta, le tre finestre ( $1,38 \times 2,77 \text{ m}$ ) hanno struttura in acciaio ed oscuramento a tapparelle avvolgibili esterne con cassonetto interno. Gli arredi consistono in ventuno banchi e sedie in legno per bambini, un armadio in alluminio e due in legno, due librerie in legno alte circa 1 m, due lavagne nere, due cattedre e una sedia imbottita per gli insegnanti.



## DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula , ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra. Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in tre punti (1, 2, 3), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e in un punto decentrato in ultima fila (4). Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



riuscire a valutarne la qualità acustica, mbiente. In particolare durante questa n fonometro modello "NTi XL2" e una

Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

#### PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore ( $L_N$ ) si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50.0.5.1 kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio*,  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*,  $SNR_A$  [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250.2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

#### RISULTATI MISURAZIONI

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

#### DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



## **RISULTATI MISURAZIONI**

LIVELLO DI RUMORE		Parametro	Valore medio [dB]	Parametro	Valore medio [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	Attività libera		65,1 (dev. st. 3,0)		76,9 (dev. st. 0,4)	-	-
		L <sub>A90</sub>	41,7 (dev. st. 0,2)	L <sub>Aeq</sub>	52,0 (dev. st. 0,8)	-	-
			30,7 (dev. st. 1,3)		<b>45,6</b> (dev. st. 3,9)	< 40	BB93

U <sub>50</sub>	Parametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.	
-	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	3,9			
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 1	0,1		Lochner and Burger	
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 2	- 1,6	≥1		
_	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 3	- 2,6		J. J	
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 4	- 3,0			

CHIAREZZA	Para	metro	Valore [dB]		Valore ottimale [dB]	Rif. normativo				
	C <sub>50,0</sub> Pun C <sub>50,0</sub> Pu	0,5-1 kHz to Rif <sub>1</sub> 0,5-1 kHz nto <b>1</b>	5,19 (dev. st. 0,06) 1,19 (dev. st. 0,26)	)						
	С <sub>50,0</sub> Ри	),5-1 kHz nto <b>2</b>	<b>-0,05</b> (dev. st. 0,10)	>	≥ 0	UNI * 11367				
	С <sub>50,0</sub> Ри	),5-1 kHz nt <b>o 3</b>	<b>-0,94</b> (dev. st. 1,54)	)						
	С <sub>50, (</sub> Ри	),5-1 kHz nto 4	<b>-1,34</b> (dev. st. 0,37)	)						
RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Para	metro	Valore [dB]		Parametro	valore	0	Valore ttimale [dB]	R	tif.
	Pun	$L_{s}$ to Rif <sub>1</sub>	62,7		SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	10,8				
5.	L <sub>S</sub> Punto 1 L <sub>S</sub> Punto 2 L <sub>S</sub> Punto 3	L <sub>s</sub> nto 1	61,1		SNR <sub>A</sub> Punto 1	9,2			Pic	ard
		L <sub>s</sub> nto 2	58,5		SNR <sub>A</sub> Punto 2	6,6		≥15	Bra	nd Idley
		L <sub>s</sub> nto 3	57,7		SNR <sub>A</sub> Punto 3	5,8			(20	)01)
	Pu	L <sub>S</sub> nto 4	57,5		SNR <sub>A</sub> Punto 4	5,6				
TEMPO DI RIVERBERAZIONE		. P	arametro		Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	•	Rif.	2	
		T <sub>20</sub>	T <sub>20, 0,250-2 kHz,occ</sub>		<b>1,31</b> (dev. st. 0,25)	0,60		DIN 18 04	 <del>1</del> 1	
		T <sub>20</sub>	), 0,5-1 kHz, unocc	(	<b>1,44</b> (dev. st. 0,01)	0,80		UN 1136	[ 57 <sup>*</sup>	

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

## QUESTIONARI

### INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



Scuola

## BENESSERE

Quanto sei d'accordo con queste affermazioni ...



**REPORT ACUSTICO** 

4

3

### RUMORE

Quando sei in classe senti..







Quando sei in classe ..



Quando sei in classe ..



Come senti la voce della maestra se..



Come senti la voce del tuo compagno se..



## Scuola Primaria Rayneri Istituto Comprensivo Manzoni Classe 1D



29 Maggio 2017

19 bambini



Corso Guglielmo Marconi 28, 10125 Torino





INRIM ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA Fondazione §

CRT

ascolto

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

REPORT ACUSTICO

126



## DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1D dell'Istituto Comprensivo Statale I.C. Manzoni (TO), in corso Guglielmo Marconi 28, si trova al piano primo del complesso e si affaccia sul cortile interno. L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a 48,93 m<sup>2</sup> (6,63 x 7,38 m), un'altezza media di circa 4,82 m ed un volume pari a 235,84 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali sono in muratura intonacate, il soffitto è voltato ed il pavimento è in piastrelle alla veneziana. Lungo il lato adiacente al corridoio si trova la porta di accesso all'aula (1,24 x 2,10 m) che è a doppio battente in legno con sopraluce in vetro, mentre sulla parete opposta due finestre (1,74 x 2,95 m) hanno struttura in legno ed oscuramento a lamelle mobili interne. Gli arredi consistono in diciannove banchi e sedie in legno per bambini, un armadio in alluminio ed uno in legno, un armadio a muro con ante in legno, una libreria in alluminio ed uno scaffale in alluminio di circa 1 m di altezza, due lavagne nere, due cattedre e due sedie in legno per gli insegnanti.



## DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula, ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra. Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in tre punti (1, 2, 3), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e in un punto decentrato in ultima fila (4). Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

#### PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore ( $L_N$ ) si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50,0,5-1,kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio*,  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*, SNR<sub>A</sub> [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250-2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

#### **RISULTATI MISURAZIONI**

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

#### DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



CHIAREZZA	Para	metro	Valore [dB]		Valore ottimale [dB]	Rif. normativo				
	$\begin{array}{c} C_{50,} \\ Pun \\ C_{50,} \\ Pu \\ C_{50,} \\ Pu \\ C_{50,} \\ Pu \\ C_{50,} \\ Pu \\ C_{50,} \\ \end{array}$	0,5-1 kHz to Rif <sub>1</sub> 0,5-1 kHz nto 1 0,5-1 kHz nto 2 0,5-1 kHz nto 3 0,5-1 kHz	5,02 (dev. st. 0,14) 0,37 (dev. st. 0,09) 0,67 (dev. st. 0,17) 2,43 (dev. st. 0,16) 1,08	)))))	≥ 0	UNI * 11367				
	Pu	nto 4	(dev. st. 0,16)	)						
RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Para	metro	Valore [dB]		Parametr	valore	0	Valore ottimale [dB]	R	if.
	Pun	L <sub>s</sub> to Rif <sub>1</sub>	62,1		SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	8,2				
5.	L <sub>s</sub> Punto 1 L <sub>s</sub> Punto 2	L <sub>s</sub> nto 1	59,4		SNR <sub>A</sub> Punto 1	5,5			Pic	ard
		L <sub>s</sub> nto 2	59,2		SNR <sub>A</sub> Punto 2	5,3		≥15	Bra	nd dley
	Pu	L <sub>s</sub> nto 3	59,0		SNR <sub>A</sub> Punto 3	5,1			(20	)01)
	Pu	L <sub>s</sub> nto 4	59,1		SNR <sub>A</sub> Punto 4	5,2				
TEMPO DI RIVERBERAZIONE		. P	arametro		Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	;	Rif.		
		T <sub>20</sub>	T <sub>20, 0,250-2 kHz,occ</sub>		<b>1,21</b> dev. st. 0,112	0,59		DIN 18 04	 11	
		T <sub>20</sub>	), 0,5-1 kHz, unocc	((	<b>1,25</b> dev. st. 0,062	0,79		UN 1136	[ 57 <sup>*</sup>	

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

## QUESTIONARI

## INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



## BENESSERE

Quanto sei d'accordo con queste affermazioni..



Sono sereno non s ð "Sono contento di me



Mi diverto con i miei



Mi sento sicuro a scuola



non so nc Ä Sono un bambino allegro non so no Å

Mi diverto molto

I miei amici mi aiutano



non so



Quanto sei felice?

0 3 5 9 10

**REPORT ACUSTICO** 

non so

no

SÌ

Scuola Primaria Rayneri Istituto Comprensivo Manzoni 131 Classe 1D

## RUMORE





Sì No



Suoni di televisori, radio o registratori provenienti da altre aule o dal corridoio?



Il rumore della pioggia se all'esterno piove? Se Sì, quanto di disturba questo rumore? 37% 57% No Sì 9% 9% 72% Poco Abbastanza Molto

Quando sei in classe ..



Come senti la voce della maestra se..





Quando sei in classe ..



Come senti la voce del tuo compagno se..



Scuola Primaria Rayneri Istituto Comprensivo Manzoni Classe 1D

## Scuola Primaria Rayneri Istituto Comprensivo Manzoni Classe 1E



29 Maggio 2017

21 bambini



Corso Guglielmo Marconi 28, 10125 Torino



**REPORT ACUSTICO** 













ascolto

## DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1E dell'Istituto Comprensivo Statale I.C. Manzoni (TO), in corso Guglielmo Marconi 28, si trova al piano primo del complesso e si affaccia sul cortile interno. L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a 48,93 m<sup>2</sup> ( $6,63 \times 7,37$  m), un'altezza media di circa 4,82 m ed un volume pari a 235,84 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali sono in muratura intonacate, il soffitto è voltato ed il pavimento è in piastrelle alla veneziana. Lungo il lato adiacente al corridoio si trova la porta di accesso all'aula ( $1,24 \times 2,10$  m) che è a doppio battente in legno con sopraluce in vetro, mentre sulla parete opposta due finestre ( $1,71 \times 2,95$  m) hanno struttura in legno ed oscuramento a lamelle mobili interne. Gli arredi consistono in ventuno banchi e sedie in legno per bambini, tre armadi a muro con ante in legno, due ampie librerie in legno, una lavagna bianca ed una nera, una cattedra ed una sedia in legno per gli insegnanti.



## DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula, ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra. Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in due punti (1, 2), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e in un punto decentrato in ultima fila (3). Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Scuola Primaria Rayneri Istituto Comprensivo Manzoni Classe 1E Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

#### PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore ( $L_N$ ) si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50.0.5.1 kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio*,  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*,  $SNR_A$  [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250.2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

#### RISULTATI MISURAZIONI

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

#### DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



## **RISULTATI MISURAZIONI**

LIVELLO DI RUMORE		Parametro	Valore medio [dB]	Parametro	Valore medio [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	Attività di gruppo		63,5 (dev. st. 1,0)		73,7 (dev. st. 0,3)	-	-
		L <sub>A90</sub>	44,9 (dev. st. 1,8)	L <sub>Aeq</sub>	54,3 (dev. st. 2,3)	-	-
<u>б</u>			35,3 (dev. st. 1,0)		<b>42,2</b> (dev. st. 1,5)	< 40	BB93

U <sub>50</sub>	Parametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.	
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	3,8			
<u>5</u>	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 1	0,0	<u>\</u> 1	Lochner and	
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 2	- 1,3		Burger	
, ■	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 3	- 1,5			

CHIAREZZA	Parametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif. normativo	
5 **	С <sub>50, 0,5-1 кНz</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	7,18 (dev. st. 0,20)		UNI * 11367*	
	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 1	<b>3,77</b> (dev. st. 0,31)	> 0		
	С <sub>50, 0,5-1 кНz</sub> Punto 2	<b>2,20</b> (dev. st. 0,11)	≥ 0		
	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 3	<b>1,98</b> (dev. st. 0,34)			

RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Parametro	Valore [dB]	Parametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	L <sub>S</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	61,5	SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	7,3		
<u>6</u>	L <sub>s</sub> Punto 1	58,2	SNR <sub>A</sub> Punto 1	4,0	>15	Picard and
	L <sub>S</sub> Punto 2	57,6	SNR <sub>A</sub> Punto 2	3,4	212	Bradley (2001)
	L <sub>S</sub> Punto 3	57,5	SNR <sub>A</sub> Punto 3	3,3		

TEMPO DI RIVERBERAZIONE	Parametro	Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	Rif.
	T <sub>20, 0,250-2 kHz,occ</sub>	<b>0,95</b> (dev. st. 0,08)	0,59	DIN 18 041
6	T <sub>20, 0,5-1 kHz, unocc</sub>	<b>1,16</b> (dev. st. 0,15)	0,79	UNI 11367 <sup>*</sup>

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

\*NORMA ITALIANA COGENTE

## QUESTIONARI

### INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



### BENESSERE

Quanto sei d'accordo con queste affermazioni..



REPORT ACUSTICO

Scuola Primaria Rayneri Istituto Comprensivo Manzoni Classe 1E

### RUMORE







Come senti la voce della maestra se..





Come senti la voce del tuo compagno se..



**REPORT ACUSTICO** 

Scuola Primaria Rayneri Istituto Comprensivo Manzoni 139 Classe 1E

# Scuola Primaria Ludovico Antonio Muratori Classe 1A



16 Maggio 2017

18 bambini

Via Bettino Ricasoli 30, 10153 Torino



Fondazione ( CRT

ascolto

140

POLITECNICO DI TORINO

DENERG Dipartimento Energia UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

INRIM ISTITUTO

## DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1A della scuola elementare Ludovico Antonio Muratori (TO), in via Bettino Ricasoli 30, si trova al piano terra del complesso e si affaccia sul cortile interno. L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a  $60,37 \text{ m}^2$  ( $6,70 \times 9,01 \text{ m}$ ), un'altezza media di circa 4,62 m ed un volume pari a 278,9 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali ed il soffitto sono in muratura intonacati, il pavimento è in linoleum. Lungo il lato adiacente al corridoio vi sono due porte: quella di accesso all'aula ( $1,06 \times 2,40 \text{ m}$ ) è a singolo battente in legno con sopraluce in vetro, l'altra è una porta antipanico ( $1,39 \times 2,15 \text{ m}$ ). Sulla parete opposta le tre finestre ( $1,51 \times 3,10 \text{ m}$ ) hanno struttura in acciaio ed oscuramento a tapparelle avvolgibili esterne con cassonetto interno. Gli arredi consistono in diciotto banchi e sedie in legno per bambini, due armadi in alluminio ed uno incassato nella parete con porta in legno, cinque librerie in legno alte circa 1 m, due lavagne nere, tre cattedre e due sedie in legno per gli insegnanti.



## DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula , ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra ( $S_1$ ) e in una seconda posizione sul lato lungo dell'aula ( $S_2$ ). Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in tre punti (1, 2, 3), più quello di riferimento (Rif\_1), posti in asse con la sorgente e un punto decentrato in ultima fila (6), per le misure eseguite con la sorgente posizionata nel punto  $S_1$ ; e in ulteriori due punti (2, 4), più quello di riferimento (Rif\_2), posti in asse con la sorgente e nel punto decentrato (6), per le misure eseguite con la sorgente posta in  $S_2$ . Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

### PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore  $(L_N)$  si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50,0,5,1,kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio*,  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*, SNR<sub>A</sub> [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250-2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

#### RISULTATI MISURAZIONI

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

#### DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



CHIAREZZA	Parametro	Valore [dB]	Parametro		Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	C 50, 0,5-1 kHz Punto Rif <sub>1</sub>	<b>5,66</b> (dev. st. 0,05)	5	С <sub>50, 0,5-1 кНz</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	<b>5,55</b> (dev. st. 0,02)		
	<b>H</b> <b>C</b> <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 1	0,21 (dev. st. 0,13)	INTE	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 4	<b>-0,33</b> (dev. st. 0,06)	) ≥ 0	UNI 11367*
	<b>B</b> <b>C</b> 50, 0,5-1 kHz Punto 2	1,12 (dev. st. 0,42)	ORGE	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 6	<b>0,24</b> (dev. st. 0,22)		
	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 3	<b>-2,39</b> (dev. st. 0,08)	S				

RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Ρ	arametro	Valore [dB]	P	arametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	ORGENTE 1	L <sub>s</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	62,1		SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	10,2	- ≥15	Picard and Bradley (2001)
		L <sub>s</sub> Punto 1	57,4	NTE	SNR <sub>A</sub> Punto 1	5,5		
		L <sub>s</sub> Punto 2	57,9	ORGE	SNR <sub>A</sub> Punto 2	6,0		
	S	L <sub>s</sub> Punto 3	57,3	S	SNR <sub>A</sub> Punto 3	5,3		
	C ULS Punto Ri LS Punto 2 LS Punto 4 LS Punto 4 LS Punto 4	L <sub>S</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	62,5	SORGENTE 2	SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	10,6		
		L <sub>s</sub> Punto 2	59,1		SNR <sub>A</sub> Punto 2	7,2		
		L <sub>s</sub> Punto 4	57,2		SNR <sub>A</sub> Punto 4	5,3		
		L <sub>s</sub> Punto 6	56,8		SNR <sub>A</sub> Punto 6	4,8		

TEMPO DI RIVERBERAZIONE	Parametro	Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	Rif.
	T <sub>20, 0,250-2 kHz,occ</sub>	<b>1,22</b> (dev. st. 0,12)	0,61	DIN 18 041
<b>6</b>	T <sub>20, 0,5-1 kHz, unocc</sub>	<b>1,48</b> (dev. st. 0,10)	0,77	UNI 11367*

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.
## QUESTIONARI

## INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



Casa 2 12% 📕 Italiano 12 Luoghi all'aperto 3 Altre lingue 24% 35% 📕 Luoghi al chiuso 4 65% 5 Altre città 53% Camera 18% 6 9

## BENESSERE

Quanto sei d'accordo con queste affermazioni..



## RUMORE







Come senti la voce della maestra se..



Come senti la voce del tuo compagno se..

6%

(:)

Poco Abbastanza Molto ٢

12%

20

Alto

al



249

Medio

Basso

# Scuola Primaria Ludovico Antonio Muratori Classe 1B



147

## DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1B della scuola elementare Ludovico Antonio Muratori (TO), in via Bettino Ricasoli 30, si trova al piano terra del complesso e si affaccia sul cortile interno. L'ambiente ha una pianta rettangolare di superficie pari a 56,48 m<sup>2</sup> (6,70 x 8,43 m), un'altezza media di circa 4,62 m ed un volume pari a 260,94 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali ed il soffitto sono in muratura intonacati, il pavimento è in piastrelle alla veneziana. Lungo il lato adiacente al corridoio vi sono due porte: quella di accesso all'aula (1,06 x 2,40 m) è a singolo battente in legno con sopraluce in vetro, l'altra è una porta antipanico ( $1,04 \times 2,15 m$ ). Sulla parete opposta, le tre finestre ( $1,51 \times 3,10 m$ ) hanno struttura in acciaio ed oscuramento a tapparelle avvolgibili esterne con cassonetto interno. Gli arredi consistono in diciotto banchi e sedie in legno per bambini, tre armadi in alluminio ed uno incassato nella parete con chiusura in legno, quattro librerie in legno alte circa 1 m, due lavagne nere, due cattedre e due sedie in legno per gli insegnanti.



## DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula , ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra (S<sub>1</sub>) e in una seconda posizione sul lato lungo dell'aula (S<sub>2</sub>). Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in tre punti (1, 2, 3), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e un punto decentrato in ultima fila (6), per le misure eseguite con la sorgente posizionata nel punto S<sub>1</sub>; e in ulteriori due punti (2, 4), più quello di riferimento (Rif<sub>2</sub>), posti in asse con la sorgente e nel punto decentrato (6), per le misure eseguite con la sorgente posta in S<sub>2</sub>. Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Scuola Primaria Ludovico Antonio Muratori Classe 1B

Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

### PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore ( $L_N$ ) si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50.0.5.1 kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio*,  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*,  $SNR_A$  [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250.2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

#### RISULTATI MISURAZIONI

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

#### DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



CHIAREZZA	Parametro		Valore [dB]	Ρ	arametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	SORGENTE 1 2 2 2 2 2 3 2 2 2	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	4,72 (dev. st. 0,06)	SORGENTE 2	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	<b>5,96</b> (dev. st. 0,23)	≥ 0	UNI 11367*
		C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 1	1,58 (dev. st. 0,30)		C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 4	<b>1,66</b> (dev. st. 0,93)		
		C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 2	<b>-1,07</b> (dev. st. 0,17)		C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 6	<b>-0,93</b> (dev. st. 0,19)		
		C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 3	-0,51					
		C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 6	<b>-0,60</b> (dev. st. 0,22)					

RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Р	arametro	Valore [dB]	Parametro		Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	SORGENTE 1	$L_{s}$ Punto Rif <sub>1</sub>	62,9	SORGENTE 1	SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	10,9	≥15	Picard and Bradley (2001)
		L <sub>s</sub> Punto 1	59,8		SNR <sub>A</sub> Punto 1	7,8		
		L <sub>s</sub> Punto 2	57,9		SNR <sub>A</sub> Punto 2	5,9		
		L <sub>s</sub> Punto 3	58,7		SNR <sub>A</sub> Punto 3	6,7		
		L <sub>s</sub> Punto 6	57,6		SNR <sub>A</sub> Punto 6	5,6		
	C 2 Ls Punto R Punto 2 Punto 2 Ls Punto 2	L <sub>S</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	62,5	SORGENTE 2	SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>2</sub>	10,5		
		L <sub>s</sub> Punto 2	59,7		SNR <sub>A</sub> Punto 2	7,7		
		L <sub>s</sub> Punto 4	59,6		SNR <sub>A</sub> Punto 4	7,6		

TEMPO DI RIVERBERAZIONE	Parametro	Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	Rif.
	T <sub>20, 0,250-2 kHz,occ</sub>	<b>1,43</b> (dev. st. 0,33)	0,60	DIN 18 041
<b>6</b>	T <sub>20, 0,5-1 kHz, unocc</sub>	<b>1,67</b> (dev. st. 0,03)	0,80	UNI 11367 <sup>*</sup>

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

\*NORMA ITALIANA COGENTE

## QUESTIONARI

## INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



REPORT ACUSTICO

Scuola Primaria Ludovico Antonio Muratori Classe 1B

## RUMORE





Quando sei in classe ..



Come senti la voce della maestra se..



Quando sei in classe ..



Come senti la voce del tuo compagno se..



# Scuola Primaria San Giacomo Classe 1



05 Giugno 2017

18 bambini



Strada San Vincenzo 40/44, 10131 Torino















## DESCRIZIONE DELL'AULA

La classe 1 della scuola primaria San Giacomo (TO), in strada San Vincenzo 40, si trova ad una quota superiore rispetto al livello della strada da cui si accede ed è circondata da un ampio giardino. L'ambiente ha una pianta irregolare di superficie pari a 38,71 m<sup>2</sup>, un'altezza media di circa 3,5 m ed un volume pari a 135,49 m<sup>3</sup>. Le pareti perimetrali e la copertura sono in calcestruzzo intonacati, il pavimento è in piastrelle di cotto. Il soffitto, che è inclinato, ha un'altezza minima di 3 m in corrispondenza della vetrata, fino a raggiungere 4 m in corrispondenza della parete curva. La porta di accesso all'aula (1,24 x 2,10 m) è a singolo battente in legno, mentre la parete che dà sul cortile è completamente vetrata e vede la presenza di due portefinestre con struttura in metallo ed oscuramento a lamelle mobili interne. Gli arredi consistono in diciotto banchi e sedie in legno per bambini, un armadio in alluminio, una libreria in legno ed una di circa 1 m in alluminio, oltre che uno scaffale sempre della stessa altezza, una lavagna bianca, una cattedra e due sedie in legno per gli insegnanti.





## DESCRIZIONE DELLE MISURAZIONI

Al fine di caratterizzare acusticamente l'aula, ovvero per riuscire a valutarne la qualità acustica, sono state eseguite delle misurazioni in diversi punti dell'ambiente. In particolare durante questa fase (della durata di circa 40 minuti) sono stati utilizzati un fonometro modello "NTi XL2" e una sorgente "NTi Audio TalkBox". Quest'ultima, la cui funzione è quella di simulare lo sforzo vocale della maestra durante l'attività lavorativa, è stata posta in corrispondenza della cattedra. Invece il fonometro, che ha la funzione di registrare i suoni come fosse un vero e proprio orecchio e che restituisce i risultati di tali misurazioni sotto forma di valori riferiti a diversi parametri acustici, è stato spostato in due punti (1, 2), più quello di riferimento (Rif<sub>1</sub>), posti in asse con la sorgente e in un punto decentrato in ultima fila (3). Infine è stato utilizzato un clappatore ad aula vuota per le misurazioni del tempo di riverberazione.



Fonometro

Talkbox

Clappatore

Le attività di misura sono state eseguite in tre diverse condizioni di occupazione dello spazio:



misurazione eseguita ad aula occupata, con i bambini impegnati in attività di vario genere (*attività libera* o *attività di gruppo*);

misurazione eseguita ad aula occupata con i bambini in silenzio;

misurazione eseguita ad aula vuota.

## PARAMETRI MISURATI

Per capire se un ambiente ha una buona acustica si fa riferimento al comfort acustico, definito come la condizione psicofisica di soddisfacimento delle esigenze acustiche espresse dall'utente nello svolgimento di una determinata attività, che a sua volta può essere inteso come controllo del rumore, della riverberazione e dell'intelligibilità del parlato. L'obiettivo è quello di evitare disturbo e fastidio (disturbo= alterazione temporanea delle condizioni psicofisiche attribuibile al rumore con riduzione di comprensione del parlato, ridotta capacità di concentrazione, ecc.; fastidio= sentimento di scontentezza attribuito al rumore attribuibile all'effetto combinato diel rumore e di altri fattori di natura psico-sociologica).

Per la valutazione del livello di rumore  $(L_N)$  si considerano i parametri acustici  $L_{Aeq} e L_{A90}$  basati su intervalli di acquisizione di 3 minuti:

*Livello equivalente del rumore di fondo,*  $L_{Aeq}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore costante nel tempo che si avrebbe a parità di energia sonora.

*Livello percentile del rumore di fondo*,  $L_{A90}$  [dB]. È il livello sonoro di rumore che viene superato per il 90% del periodo di misura.

Per la valutazione del livello del segnale vocale (L<sub>s</sub>) si considera:

*Livello equivalente del segnale,*  $L_{Aeq}$  [dB], con sforzo vocale "normale" corrispondente a 60 dB(A) ad 1m in condizioni anecoiche in acordo con la norma UNI EN ISO 992 1.

L'intelligibilità del parlato, definita come la percentuale di parole o frasi comprese sulla totalità di quelle pronunciate durante la comunicazione verbale, viene calcolata tramite:

*Chiarezza*, C<sub>50,0,5,1,kHz</sub> [dB]. Descrive la sensazione di percepire nitidamente il parlato.

*Useful/detrimental sound ratio*,  $U_{50,0,5-1 \text{ kHz}}$  [dB], simile alla  $C_{50'}$  esprime il rapporto tra il suono utile, che comprende il suono diretto e le prime riflessioni, e il suono dannoso che combina le riflessioni successive e il rumore di fondo.

*Rapporto Segnale-Rumore*,  $SNR_A$  [dB]. Viene definito come la differenza tra il Livello del segnale ( $L_s$ ) e il Livello del rumore ( $L_N$ ) considerato come  $L_{Aeq}$  in aula occupata con bambini in silenzio. Dipende da caratteristiche acustiche della voce della maestra, distanza fra parlatore ed ascoltatore, presenza di rumore di fondo, distanza tra ascoltatore e sorgenti di rumore specifiche.

Per la valutazione della riverberazione si considera:

*Tempo di riverberazione*,  $T_{20, 0,250-2, kHz, occ}$ ,  $T_{20, 0,5-1, kHz, unocc}$  [s]. È il tempo necessario affinchè il livello sonoro decada di 60 dB dall'istante di spegnimento della sorgente sonora che emette il segnale. Descrive la percezione della riverberazione sonora e cioè quanto l'ambiente modifica il suono.

## RISULTATI MISURAZIONI

Una volta misurati questi parametri, è stato possibile riportare in tabelle i rispettivi valori e successivamente calcolare i dati da poter confrontare con le normative vigenti e la letteratura specifica. In questo modo si è giunti a stabilire la qualità acustica dell'aula scolastica, come risulta dalle tabelle del documento.

## DESCRIZIONE QUESTIONARI

Prima della fase delle misurazioni acustiche, i bambini hanno compilato due questionari, uno sul benessere e uno sul rumore a scuola. Guidati dalla voce delle maestre, che leggevano loro le domande, i bimbi hanno posto delle croci per esprimere la loro opinione su scale soggettive a 3 punti.



0 0.5 1

## **RISULTATI MISURAZIONI**

LIVELLO DI RUMORE		Parametro	Valore medio [dB]	Parametro	Valore medio [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
	Attività di gruppo		60,0 (dev. st. 3,1)		72,2 (dev. st. 3,6)	-	-
		L <sub>A90</sub>	43,3 (dev. st. 0,6)	L <sub>Aeq</sub>	51,5 (dev. st. 1,1)	-	-
<u>б</u>			32,3 (dev. st. 1,8)		38,3 (dev. st. 2,3)	< 40	BB93

U <sub>50</sub>	Parametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.	
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	5,1			
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 1	1,3	<b>~1</b>	Lochner and Burger	
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 2	- 0,2	21		
	U <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 3	1,4			

CHIAREZZA	Parametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif. normativo
_	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	<b>6,83</b> (dev. st. 0,24)		
	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 1	<b>3,34</b> (dev. st. 0,09)	> 0	UNI *
	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 2	1,54 (dev. st. 0,28)	≥0	11367
	C <sub>50, 0,5-1 kHz</sub> Punto 3	<b>3,07</b> (dev. st. 0,34)		

RAPPORTO SEGNALE RUMORE	Parametro	Valore [dB]	Parametro	Valore [dB]	Valore ottimale [dB]	Rif.
<u>6</u> **	L <sub>S</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	62,3	SNR <sub>A</sub> Punto Rif <sub>1</sub>	10,9		
	L <sub>S</sub> Punto 1	58,7	SNR <sub>A</sub> Punto 1	7,3	>15	Picard and
	L <sub>S</sub> Punto 2	L <sub>s</sub> 58,4 Punto 2		7,0	Bradley (2001)	
	L <sub>S</sub> Punto 3	59,7	SNR <sub>A</sub> Punto 3	8,3		

TEMPO DI RIVERBERAZIONE	Parametro	Valore medio [s]	Valore ottimale [s]	Rif.
	T <sub>20, 0,250-2 kHz,occ</sub>	<b>0,86</b> (dev. st. 0,05)	0,51	DIN 18 041
6	T <sub>20, 0,5-1 kHz, unocc</sub>	<b>1,18</b> (dev. st. 0,07)	0,71	UNI 11367 <sup>*</sup>

In grassetto sono evidenziati i valori che non rispondono a quelli ottimali di riferimento.

\*NORMA ITALIANA COGENTE

## QUESTIONARI

## INFORMAZIONI DEMOGRAFICHE



non so 凸 Molte cose di me sono positive



Casa mia è un buon posto per



Mi piace stare a scuola







Mi diverto con i miei



Mi sento sicuro a scuola





non so

Sono un bambino allegro













non so sì



5 1



## RUMORE







Come senti la voce della maestra se..



Come senti la voce del tuo compagno se..

Alto

а



Basso

٥U

Medio

, IU

Classe 1

Poco Abbastanza Molto

 $\odot$ 

# Ringraziamenti

Ringrazio la professoressa Arianna Astolfi e Giuseppina Puglisi per avermi coinvolto in questo progetto, avermi seguito con pazienza in questo importante percorso che ho intrapreso con entusiasmo fin dall'inizio e che mi ha insegnato più di quanto potessi immaginare.

Ringrazio tutta la mia famiglia: Stefano, Elena, la piccola Anna e in particolar modo mia madre, mio padre e mia sorella che hanno creduto in me ancor prima che lo facessi io e che non ripagherò mai abbastanza per le opportunità che mi danno ogni giorno, perché sono il sostegno che ognuno dovrebbe avere e senza il quale non avrei mai avuto il coraggio necessario per raggiungere i miei obbiettivi.

Ringrazio Pier, che in soli tre anni è diventato un punto fermo della mia vita e una costante fonte di supporto emotivo e accademico, che mi ha spronato a migliorare, su cui ho potuto contare senza riserve e senza il quale questo percorso non sarebbe stato lo stesso.

Ringrazio Roberto, perché non avrei mai immaginato che due battute tra una revisione e l'altra si sarebbero potute mai trasformare in un'amicizia così bella, la prima impressione non è sempre quella che conta e il nostro rapporto ne è la dimostrazione.

Ringrazio tutti gli amici che mi hanno accompagnato in questo percorso universitario e mi hanno fatto sentire a casa in una città che non era mia. Cristina, Roberta e Simona con cui questa avventura a Torino è iniziata nel migliore dei modi e sono sicura continuerà negli anni; Giorgia, che nonostante la divergenza di percorsi è diventata una presenza importante e lo sarà sempre; Matteo che mi ha accolto in un momento di difficoltà, perché un viaggio a Roma può diventare una splendida amicizia, Davide, Eleonora e Fabiano per tutti i bei momenti condivisi e quelli che spero verranno; Marco e Luca, per aver accompagnato gli ultimi traguardi di questo percorso arricchendoli di bei momenti.

Ringrazio la mia migliore amica Giulia, il mio punto di riferimento in ogni momento, perché tutti meriterebbero l'amicizia incondizionata che lei riesce a dare. I miei amici storici e quelli che sono arrivati nel tempo, perché nonostante la distanza non hanno mai smesso di sostenermi e farmi capire che l'amicizia prescinde la lontananza: Matteo, Fabio, Camillo, Simone, Davide, Noemi, Giulia e Giacomo.