Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO



Implementazione di applicazioni dedicate per Smart Home e Assisted Living

F. Romanello, S. Pizzuti, S. Romano, C. Snels,
L. Luccarini, A. Zanela, R. Chiarini, P. Clerici Maestosi

Report RdS/PAR2017/043

IMPLEMENTAZIONE DI APPLICAZIONI DEDICATE PER SMART HOME E ASSISTED LIVING

F. Romanello, S. Pizzuti, S. Romano, C. Snels, L. Luccarini, A. Zanela, R. Chiarini, P. Clerici Maestosi (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2017
Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici
Progetto: Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano
Obiettivo: Sistemi e servizi smart per edifici
Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Gli autori ringraziano Martina Botticelli per la preziosa collaborazione

Indice

SOMMARIO 6

1 INTRODUZIONE 7

2 SESTO SENSO 8

2.1 INTRODUZIONE 8
2.2 ATTIVITÀ SVOLTE IN COLLABORAZIONE CON INNOSENSOR S.R.L. 8
2.3 ATTIVITÀ SVOLTE CON UNIVERSITÀ ROMA TRE 12
2.4 CONCLUSIONI 31

3 DISAGGREGAZIONE CONSUMI ELETTRICI 32

3.1 PRE-PROCESSAMENTO E ANALISI DEI DATI DELLE CASE ENEA: 32
3.2 MODELLO DI MACHINE LEARNING UTILIZZATO 34
3.2.1 Long Short-Term Memory 34
3.2.2 Denoising Autoencoder 35
3.2.3 Risultati sulle case ENEA 36
3.2.4 Conclusioni 37

4 DISAGGREGAZIONE CONSUMI IDRICI 38

4.1 PREMESSA 38
4.1.1 Acquisizione e preparazione dei dati 38
4.1.2 Machine learning per la classificazione dei consumi idrici 43
4.2 VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI 46
4.2.1 Matrice di Confusione 46
4.2.2 Sistemi con soglia e curva ROC (Receiver Operating Characteristic) 46
4.3 CLASSIFICATORE NEAREST NEIGHBOR (NN) 47
4.3.1 Parametri per l'addestramento del classificatore tipo K-NN 47
4.3.2 Risultati 47
4.3.3 Fase di test 48
4.4 CLASSIFICATORE SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM) 48
4.4.1 Parametri per l'addestramento del classificatore tipo SVM 49
4.4.2 Risultati 49
4.4.3 Fase di test 50
4.5 CONCLUSIONI 50

5 ASSISTED LIVING E SUA INTEGRAZIONE 51

5.1 INTRODUZIONE 51
5.2 ATTIVITÀ CONDOTTE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI "TOR VERGATA" 51
5.3 ATTIVITÀ CONDOTTE DAL LABORATORIO INTELLIGENZA DISTRIBUITA E ROBOTICA PER L'AMBIENTE E LA PERSONA DELL'ENEA 52
5.3.1 Le attività nel quadro di quanto svolto nelle precedenti annualità 52
5.3.2 Matrice di fruizione delle tecnologie della smart home 53
5.3.3 Tipologie di difficoltà 54
5.3.4 Principali tipologie di interfaccia 56
5.3.5 Compilazione della matrice di fruizione 57
5.4 SISTEMA PROTOTIPALE DI INTERFACCIA TATTILE 58
5.4.1 Implementazione del sistema prototipale di interfaccia tattile nella smart home 61

6 ACCETTABILITÀ DELLA STRUMENTAZIONE PER LA GESTIONE ENERGETICA E L'ASSISTED LIVING 64

6.1 INDAGINE SULL'ACCETTABILITÀ DELLA STRUMENTAZIONE PER LA GESTIONE ENERGETICA E L'ASSISTED LIVING 64
6.1.1 Campione di indagine 64
6.1.2 Quadro metodologico 65
6.1.3 Risultati e analisi 65
6.1.4 Conclusioni 67
6.2 IMPATTO DELLA SENSORISTICA DEL MODELLO PROTOTIPALE SMART HOME SULL'EDILIZIA RESIDENZA PUBBLICA (E.R.P) PER DEFINIRE GLI ELEMENTI IN GRADO DI FAVORIRE LA TRANSIZIONE VERSO EDIFICI SMART DI HOUSING SOCIALE. 69

7 CONCLUSIONI 73
8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 74
9 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI 76

Sommario

In questa annualità è stata proseguita l'attività relativa alla gestione energetica smart home e assisted living intrapresa nelle scorse annualità. L'obiettivo di questa annualità è stata l'ingegnerizzazione dei moduli software sviluppati nelle precedenti annualità, in particolare l'ingegnerizzazione e la successiva integrazione del sistema multisensoriale Sesto Senso nella soluzione per la gestione energetica elettrica della Smart Home a livello di Energy Box. Inoltre sono state sviluppati modelli e soluzioni di tipo black box (support vector machine e reti neurali) per la disaggregazione dei dati di consumo elettrico domestico residenziale generale nelle componenti attribuibili ai singoli elettrodomestici. Parallelamente è proseguita l'attività intrapresa la scorsa annualità relativa alla disaggregazione dei consumi idrici basata su tecniche di classificazione, clustering e regressione lineare. Inoltre stato condotto uno studio sui dispositivi di interfaccia con cui l'utente comanda i sistemi all'interno della casa, ponendoli in relazione alle diverse abilità, anche residuali, della persona per permettere un allargamento della tipologia di utenza e, conseguentemente, del mercato delle tecnologie della Smart Home. Infine, considerando che le tecnologie della Smart Home sono realmente efficaci solo se comprese ed accettate dagli utenti finali, è stato condotto uno studio sull'accettabilità da parte degli utenti residenziali della strumentazione per la gestione energetica e l'assisted living.

1 Introduzione

Il filo conduttore di questa parte dell'annualità è stata l'ingegnerizzazione dei vari pacchetti software già sviluppati precedentemente, in particolare della soluzione per la gestione energetica elettrica della Smart Home a livello di Energy Box. Anche l'ingegnerizzazione e l'integrazione del sistema multisensoriale Sesto Senso con il sistema domotico consente ora il confronto, la correlazione e la valutazione delle informazioni prodotte da Sesto Senso con quelle possedute dall'Energy Box. Grazie alla implementazione di codici di analisi specifici sia per il sensore virtuale della CO2, che dell'analisi acustica dell'ambiente monitorato, si disporrà di un quadro sensoriale molto più completo e quindi si è giunti così a valutazioni e risultati integrali di livello superiore.
Disponendo quindi di un sistema multisensoriale molto articolato e ora già ingegnerizzato, è possibile pensare al monitoraggio ambientale con l'obiettivo di sviluppare modelli e soluzioni di tipo black box (support vector machine e reti neurali) per la disaggregazione dei dati di consumo elettrico domestico residenziale relativo ai singoli elettrodomestici. Questa attività è stata integrata a quella sulla disaggregazione dei consumi idrici basata su tecniche di classificazione, clustering e regressione lineare. Riflettendo sul fatto che soltanto se gli utenti finali accettano e comprendono nella loro valenza ed importanza i risultati ottenuti con le tecnologie della Smart Home essi diventano produttivi è stato condotto uno studio sull'accettabilità da parte degli utenti residenziali della strumentazione per la gestione energetica e l'assisted living. Sono stati inoltre studiati i dispositivi di interfaccia con cui l'utente comanda i sistemi all'interno della casa, ponendoli in relazione alle diverse abilità, anche residuali, della persona per permettere un allargamento della tipologia di utenza e, conseguentemente, del mercato delle tecnologie della Smart Home. E' stato infine valutato l'Impatto della sensoristica della smart home per favorire la transizione verso forme di edilizia residenziale sociale e partecipata, lo scopo era di identificare gli indicatori adeguati a facilitare il passaggio alla gestione della casa con le nuove tecnologie.

2 Sesto senso

2.1 Introduzione

Nell'annualità conclusa le attività hanno abbracciato sostanzialmente due tematiche distinte ma correlate l'una all'altra:

1) L'ingegnerizzazione di Sesto Senso per avvicinarlo ad un prodotto da proporre al mercato
2) La ricerca e sviluppo di un sistema acustico intelligente in grado di localizzare una sorgente acustica e di riconoscerla per scopi multipli e applicazioni diverse da integrare all'interno del Sistema Sesto Senso.

L'ENEA ha gestito, coordinato e collaborato alle attività precedenti realizzate, la prima in collaborazione con la Società Innosensor che ha eseguito il progetto e messo in pratica i codici e le architetture progettate e messe a punto da ENEA, si è coordinata l'attività di "messa in bella" del Sistema Sesto Senso e durante questi lavori si sono dotati i sensori, gli attuatori e comunque di tutte le parti della funzionalità di colloquio con il protocollo standard Zwave e comunque aperto alla implementazione anche di eventuali altri protocolli che si dovessero rendere necessari all'integrazione con altre realtà strumentali.
La seconda attività svolta con l'Università Roma Tre, con cui si è collaborato per definire le basi di soluzione del problema della localizzazione delle sorgenti acustiche in un ambiente domotico e successiva discriminazione della tipologia del rumore percepito è stata una attività ancora di livello progettuale e prototipale con il programma di essere poi integrato nel Sistema Sesto Senso. Questo processo è un percorso che deve essere affrontato con tutti gli eventuali futuri pacchetti e programmi con cui si vorrà estendere le funzionalità di Sesto Senso.

2.2 Attività svolte in collaborazione con Innosensor s.r.l.

Nella prima attività si è lavorato sia al miglioramento della parte estetica ed ergonomica del sistema e sua ottimizzazione funzionale, sia a dotare Sesto Senso di una interfaccia Zwave con cui colloquiare con i sensori, gli attuatori e tutto il resto del mondo domotico. Infatti il controller della rete Zwave sesto senso utilizza una periferica USB collegata direttamente ad una porta COM della Rasberry. In particolare è stata utilizzata la USB Stick Z-wave.me (ZME_UZB1).

Marca	z-wave.me
serie	ZME_UZB1
colore	Black
Peso articolo	4,54 g
Dimensioni prodotto	3,5 x 1,7 x 0,8 cm
Numero modello articolo	ZME_UZB1



Figura 1- USB STICK ZWAVE

Z-wave Frequenza europea: 868.4 MHz

Sesto Senso si appoggia al cloud Telegea Smart Hub che fornisce un'API HTTP consentendo di ottenere dati di sensori in tempo reale mettendo a fattor comune le uscite dei dispositivi. L'autenticazione di base viene fornita utilizzando un token di sicurezza (chiave API). L'API consente di interrogare più elementi in una singola richiesta.
I comandi di lettura o scrittura su un modulo del servizio di piattaforma sul dispositivo possono essere inviati da un client nella stessa rete locale all'API tramite una richiesta HTTP GET che viene utilizzata per leggere i dati del sensore in tempo reale o per controllare direttamente un'uscita del dispositivo. Il modulo di servizio della piattaforma desiderato viene selezionato dal suo indirizzo di modulo specifico e dall'elemento all'interno del modulo dal suo indirizzo di registro. Questa architettura ci ha consentito, e ci consentirà, di estendere il sistema, come precedentemente detto, praticamente a tutte le applicazioni presenti e future.

Sesto Senso si basa sull'utilizzo di sensori commerciali Zwave che prelevano le informazioni dall'ambiente e compiono elaborazioni di livello superiore estrapolando parametri virtuali quali ad esempio la percentuale di CO_2.
L'algoritmo che implementa una rete neurale, calcola la percentuale di CO_2 con in input 5 parametri ambientali della stanza dove è installato:

a) Stato di apertura porta
b) Stato di apertura della finestra
c) Umidità
d) Temperatura
e) Numero delle persone presenti nella stanza

Mentre le prime quattro informazioni sono reperibili da sensori commerciali, per il numero di persone non è presente attualmente sul mercato un sensore che soddisfi tale esigenza in modo economico, ma ENEA ha realizzato uno ad hoc che diventa parte fondamentale del sistema Sesto Senso.
Per quel che riguarda la scelta dei sensori si è pensato di utilizzare dei sensori wireless Zwave essendo ormai uno standard di utilizzo molto diffuso in domotica, ambito nel quale può essere applicato Sesto Senso.
Anche il sensore conta persone è stato progettato per trasmettere con la stessa tecnologia Zwave, facendo si che lo stesso sensore conta persone diventasse un vero sensore di domotica facente parte del sistema Sesto Senso ma con la possibilità di essere inserito in altri sistemi domotici già esistenti.
La scelta di utilizzare lo standard wireless elimina inoltre la problematica di collegare i sensori direttamente con cavo alla centralina per l'invio del segnale, in questo modo è possibile posizionare la centralina in qualunque luogo all'interno della stanza; in aggiunta i primi quattro sensori commerciali hanno la possibilità di essere alimentati a batteria rendendo l'installazione ancora più semplice e meno invasiva. Sono disposti nella stanza anche altri sensori necessari a Sesto Senso alla interpretazione delle situazioni ambientali. Un sensore PIR (Passive Infra Red) in grado di rilevare il movimento di una persona o animale, anch'esso dotato di capacità di connessione Zwave, un sensore di luminosità per gestire le risorse energetiche per l'illuminazione completano la disposizione sensoriale. Da questo schema sono omessi i sensori acustici che al momento della ingegnerizzazione di Sesto Senso erano ancora in sviluppo.

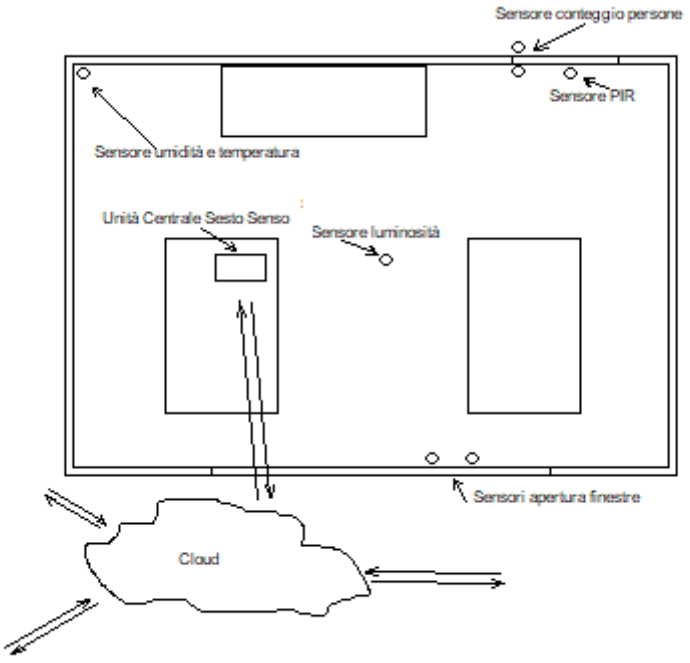


Figura 2- disposizione dei sensori in una room tipo



Figura 3-Sensore conta persone installato in un ufficio del Centro Enea della Casaccia

Il lavoro di progettazione svolto in ENEA del sensore di conteggio delle persone e la realizzazione prototipale, presentavano alcune criticità, come ad esempio quella della mutua interferenza dei due sensori ad infrarossi attivi che avendo i coni di emissione parzialmente sovrapposti producevano delle interferenze che in certe situazioni operative davano delle anomalie di funzionamento. Inoltre questi sensori erano stati montati, nell'arrangiamento prototipale, sui montanti degli infissi, con costi di installazione elevati e con un grosso impatto invasivo. Inoltre non era stata curata la comunicazione dei dati in quanto i lavori erano serviti a definire un sistema funzionante e a dimostrarne la fattibilità.
La società Innosensor partendo dal nostro risultato, ha in prima battuta indagato se potessero essere utilizzati altri sensori con altre tecnologie infatti si è indagato e provato sia sensori ad infrarossi con uscita analogica, e sensori ad ultrasuoni ma si è poi deciso di mantenere l'impostazione scelta da ENEA utilizzando i sensori ad infrarossi attivi e risolvendo le precedenti criticità disallineando i sensori di un angolo sufficiente ad eliminare le interferenze, ha dotato la coppia di sensori di un sistema di collegamento WiFi utilizzando una board con protocollo Zwave e ha inserito il tutto in un "case". Di seguito il sensore ad infrarossi utilizzato anche nella forma definitiva.



Caratteristiche:		
Vin:		5 VDC
I:		100 mA
Range	**misura:**	**3 - 80 cm**
Diametro:		17 mm
Lunghezza:		45 mm

Figura 4-Il sensore E18D80NK permette di regolare la soglia di rilevazione tramite apposito trimmer. La taratura è stata fatta a 70 cm.

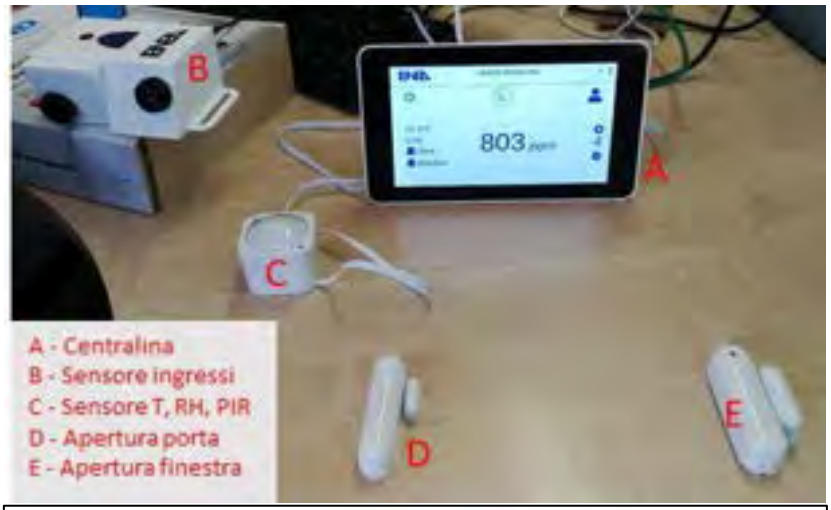
Con questo approccio il risultato è quindi un sistema sensore conta persone wireless che invia in uscita due segnali impulsivi su due canali la cui sequenza indica il verso del transito. In questo modo alla centralina arriva la sequenza e dopo un'analisi di un appropriato algoritmo viene riconosciuto uno dei due eventi e la stessa centralina conoscendo il numero iniziale di persone nella stanza e avendo il feedback del PIR del sensore di centro stanza, può incrementare o decrementare il numero di persone.
Il lavoro svolto da Innosensor ha prodotto una pre-serie industriale del sistema completo SESTO SENSO che rispecchia tutti gli obiettivi prefissati a inizio progetto.

Il risultato è stato di una centralina con sensoristica accessoria wireless che permette al sistema SESTO SENSO di diventare un vero e proprio HUB di domotica basato su tecnologia Zwave connesso alla rete.

Il sistema integra i risultati, secondo lo stato dell'arte, delle ricerche svolte dall'ENEA in collaborazione con l'Università Roma Tre per il calcolo virtuale della CO2 e presenta tra la propria sensoristica accessoria un sensore conta persone ottimizzato e reso wireless che integra gli algoritmi di calcolo sviluppati dall'ENEA.

Il sensore conta persone dotato di connessione Zwave può essere considerato da solo un sensore di domotica pre-commerciale che può quindi essere integrato anche in altri sistemi, diversi da SESTO SENSO.

Lo stesso sistema SESTO SENSO grazie al sistema di API http Restful può essere integrato in altri sistemi di domotica più grandi o connesso a sistema Cloud di terze parti. Nella figure seguenti si possono vedere i risultati delle realizzazioni e dell'integrazione delle stesse.



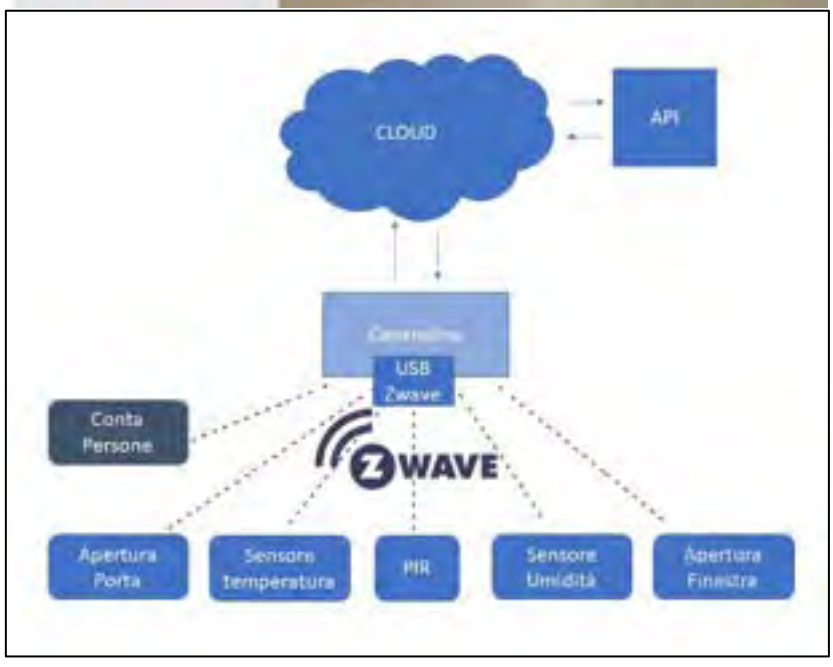


Figura 5-In alto Sesto Senso e in basso l'architettura di interconnessione

Il sistema Sesto Senso è stato pensato come un sistema modulare ed espandibile, in modo da poterlo far crescere con ulteriori implementazioni sia Hardware che Software. Infatti in previsione dei prossimi sviluppi, la centralina presenta la possibilità di integrare ulteriori sensori Zwave di diversa natura anche utilizzanti tecnologie di comunicazione differenti come ad esempio I2C, BLE, MODBUS, WIFI, input ANALOGICI o DIGITALI ecc in modo da consentire l'utilizzo di soluzioni commerciali già pronte.
Ad ogni canale di comunicazione è stato riservato un registro nel quale vengono registrati i parametri e dal quale i programmi derivanti dagli algoritmi sviluppati dal team di ricerca prenderanno le informazioni per elaborare i dati al fine di calcolare ulteriori valori virtuali come fatto per la CO2 o per il conta persone.
In automatico i valori dei sensori attuali e futuri e i valori calcolati sono resi disponibili nelle API locali per la visualizzazione sul touchscreen della centralina e da remoto per gli applicativi lato web.
In questo modo Sesto Senso diventa un vero e proprio strumento di sviluppo oltre che di integrazione al quale è possibile aggiungere e sviluppare tecnologie nuove richieste dal mercato o che la tecnica rende disponibili.

2.3 Attività svolte con Università Roma Tre

La seconda linea di attività è stata più dedicata allo sviluppo e messa a punto dell'architettura hardware e software capace di risolvere la problematica della localizzazione delle sorgenti acustiche e la loro caratterizzazione, ciò si è raggiunto con una implementazione sulla piattaforma Arduino Uno la parte sensoriale, cioè il pre-trattamento dei segnali acustici provenienti dai microfoni e loro successivo trasferimento ad un'altra piattaforma di processamento in cui l'output è stato quello della localizzazione delle sorgenti e la loro discriminazione. Questo è stato svolto in ambiente MatLab che nella nostra fase di sviluppo ha utilizzato un P.C. ma che è possibile implementare ad esempio su una piattaforma dedicata come ad esempio Raspberry PI 3 di cui Sesto Senso è già dotato.

Il problema da dimostrare era quello di riuscire a localizzare e caratterizzare una sorgente acustica con alcuni microfoni disposti nell'ambiente/laboratorio utilizzato. Si è utilizzato un locale dell'edificio F40 del Centro Enea della Casaccia. Si riporta di seguito la pianta del laboratorio dove si sono svolte le attività di sperimentazione e sviluppo del sistema.

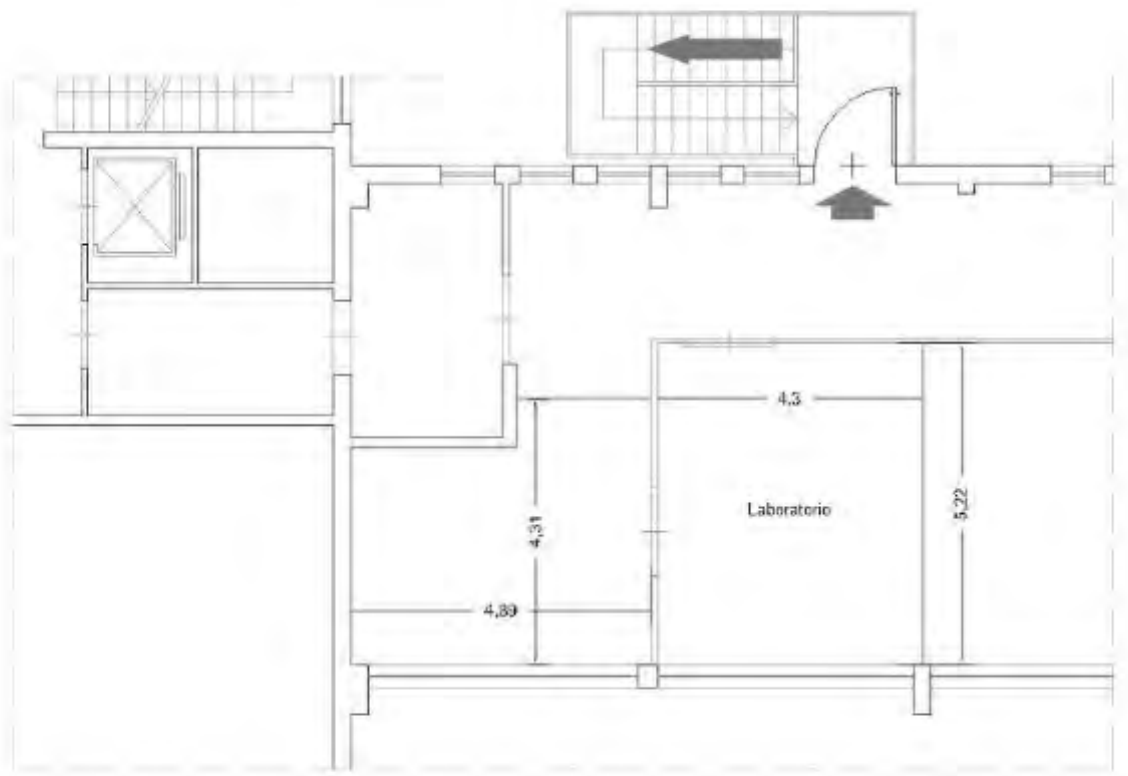


Figura 6-Laboratorio di circa 22m2 nel quale si sono svolte le attività di ricerca e sviluppo

Inizialmente si è fatta un'analisi dei microfoni disponibili nel mercato per individuare la migliore soluzione per la nostra applicazione. Una volta risolta la scelta si è passati a definire e ottimizzare l'elettronica di amplificazione e pre trattamento dei segnali acustici, infatti un microfono è di fatto un trasduttore acustico elettrico cioè converte un'onda di pressione acustica incidente sulla membrana sensibile del sensore in segnale elettrico. Il livello in tensione di questo segnale non è trattabile dai sistemi di acquisizione che necessitano di ampiezze di segnale con range 0 – 5V per cui per utilizzare tutto il range disponibile per ottimizzare e utilizzare al meglio l'intero range digitale dell'ingresso analogico della piattaforma Arduino a 10 bit (0 – 1023) si è messo a punto e tarato un amplificatore audio con banda passante nel range audio 20 – 20.000 Hz. Questo amplificatore è stato dotato di filtro passa alto per eliminare tutti i rumori indesiderati che potrebbero disturbare il segnale utile.
In una prima fase si è scelto di provare il codice di calcolo su una coppia di sensori che risolve la discriminazione della localizzazione su una curva in un piano contenente i due sensori. Ovviamente per giungere alla localizzazione precisa (a parte gli errori tipici della tecnica utilizzata) è necessario disporre nell'ambiente monitorato acusticamente, di quattro sensori acustici che risolvono il problema in modo soddisfacente.
Dunque l'algoritmo ideato studiato e messo a punto per una coppia di sensori è poi possibile riproporlo anche ad altre coppie in modo da passare ad una soluzione sempre più precisa mettendo a sistema le singole soluzioni ottenute.

Dopo una trattazione geometrico-analitica che ha riguardato la coppia di sensori presi in considerazione nel dimostrativo di fattibilità, e tenuto conto del tempo di ritardo dello stesso segnale che giunge al microfono più lontano dalla sorgente rispetto a quello più vicino e conoscendo la velocità del suono nell'aria, si risale allo spazio percorso durante il tempo di ritardo. La soluzione, come dicevamo, nel caso di due sensori non è un punto ma una curva di cui una soluzione si riporta di seguito.
Per la trattazione di segnali con i quali si ha a che fare in questa fase di lavoro sperimentale, si è pensato all'utilizzo di MATLAB (*MATrici & LABoratorio*). Si tratta di un linguaggio di programmazione ad alto livello che integra il calcolo, la visualizzazione e la programmazione in un ambiente di facile impiego. Questo ambiente permette la risoluzione di numerosi problemi di calcolo, in particolare quelli caratterizzati da formulazioni di tipo vettoriale e matriciale, attraverso algoritmi molto più semplici e snelli rispetto a quelli necessari in programmi in linguaggio scalare non interattivo come ad esempio il linguaggio C.
In questo lavoro, si è provato a riprodurre, seppur non con la stessa precisione, l'acquisizione degli avvenimenti acustici in una stanza, tramite l'istruzione di "audiorecorder" di MATLAB. La sintassi di questa istruzione è:
recorder = audiorecorder(Fs,bit,nchannels,ID)
recordblocking(recorder,seconds)
In questo caso MATLAB crea l'oggetto "recorder" che sarà una registrazione con una determinata frequenza di campionamento Fs_s, uno specificato numero di bit per campione (8,16 o 24), un numero per il canale mono (1) o stereo (2), e il Device Identifier, che restituisce l'ID del "device" che si sta utilizzando.
L'istruzione "recordblocking" invece, specifica che l'oggetto "recorder" avrà una durata di alcuni secondi. Per ascoltare la registrazione si chiama la funzione:
play(recorder)
Il passo successivo è cercare di visualizzare il contenuto della registrazione, convertendo l'oggetto audio in un array numerico:
y=getaudiodata(recorder)
E graficare il contenuto dell'array:
plot(y)
Da qui, si è in grado di visualizzare la dinamica del segnale audio nel tempo relativo ai suoi campioni.
Si sono svolte, presso il laboratorio di cui precedentemente si è riportata la pianta, diverse acquisizioni, in vari giorni, utilizzando l'arrangiamento sperimentale e le istruzioni sopra specificate: alcune con il microfono del computer, altre con una capsula microfonica a condensatore esterna e direttamente collegata al computer; entrambe le acquisizioni erano volte ad indagare sull'aspetto qualitativo del segnale in esame. Si è lavorato alternativamente con 4KHz o 8KHz per 8 o 16 bit e con registrazioni della durata massima di 5/10 minuti.
Dal confronto tra i due microfoni, è risultato che la capsula esterna appariva più "sorda" rispetto al microfono interno del computer, tant'è che le registrazioni effettuate con la capsula avevano una bassa qualità audio e risultavano "ovattate" e quasi incomprensibili. Da questa osservazione, si è presa in considerazione la necessità di utilizzare un circuito di amplificazione per ovviare al problema della troppo bassa tensione di uscita della capsula a condensatore. Ultimo aspetto importante, dal quale si è considerata la scelta del microcontrollore per l'implementazione del sistema hardware che si vedrà in seguito, è la memoria dei file delle registrazioni. Di seguito è riportata la tabella con le varie prove effettuate:

Prova 0	**t=600s**	**Fs=4K[Hz]**	**16 bit**	**File=36.8MB**
Prova 1	t=600s	Fs=8K[Hz]	16 bit	File=26.0MB
Prova 2	t=600s	Fs=8K[Hz]	16 bit	File=31.7MB
Prova 3	t=300s	Fs=4K[Hz]	8 bit	File=5.6MB
Prova 4	t=300s	Fs=8K[Hz]	8 bit	File=11.2MB
Prova 5	t=300s	Fs=4K[Hz]	8 bit	File=12.0MB
Prova 6	**t=600s**	**Fs=4K[Hz]**	**16 bit**	**File=19MB**
Prova 7	t=600s	Fs=8K[Hz]	16 bit	File=37.5MB
Prova 8	t=600s	Fs=4K[Hz]	16 bit	File=19.7MB

Prova 9	t=300s	Fs=8K[Hz]	8 bit	File=10.5MB
Prova 10	T=300s	Fs= 8K[Hz]	8 bit	File=10.4MB

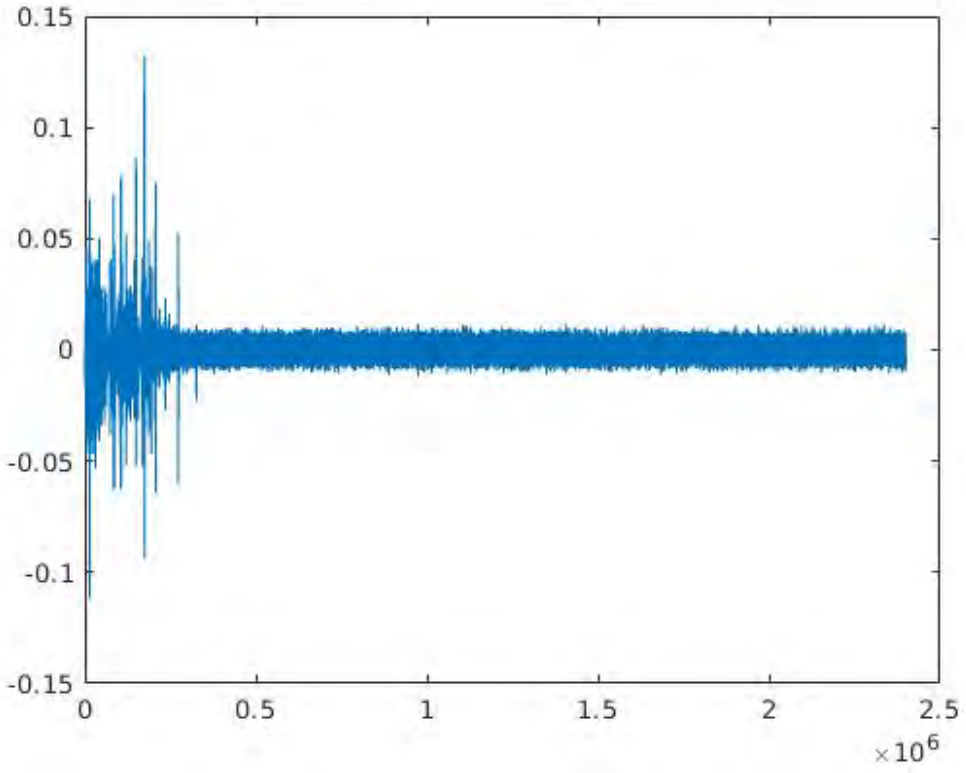


Figura 7-Plot della prova 7 della tabella precedente

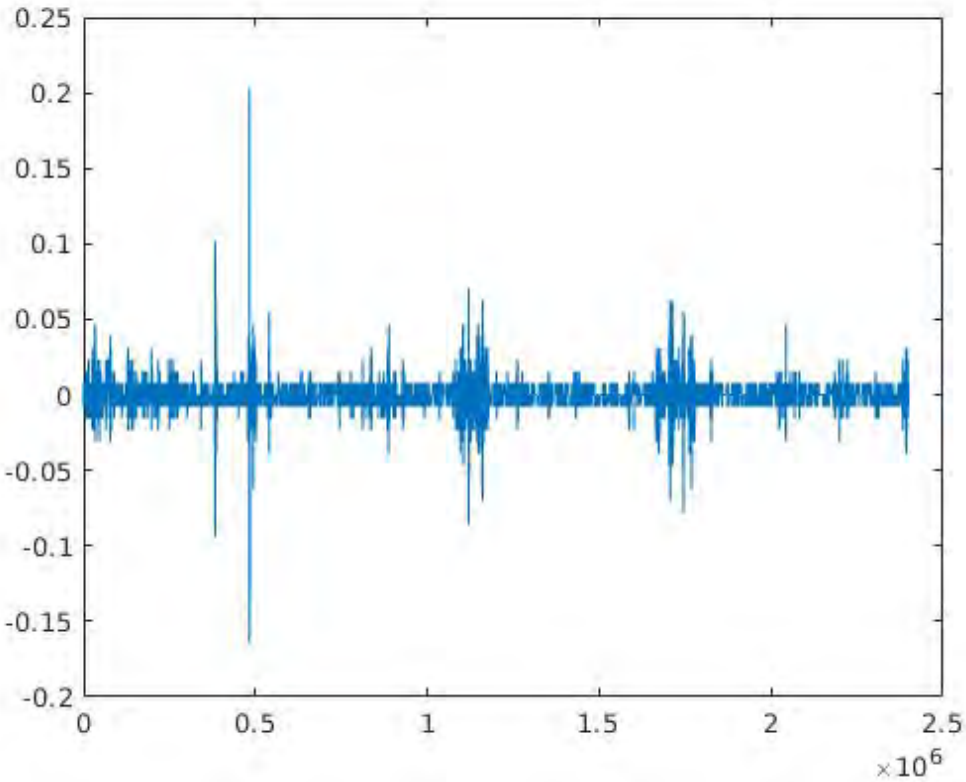


Figura 8- Plot della prova 10 della tabella precedente

Per la risoluzione del problema di localizzazione di una sorgente di rumore in una stanza, si è considerata una trattazione analitica costituita da due microfoni disposti su di un piano xOy con coordinate note e la sorgente di coordinate incognite. Si è considerato che la distanza tra i due microfoni è nota, e la si indica con d e che il punto medio tra i due microfoni sia l'origine degli assi.

$M_1 = \left(-\frac{d}{2}, 0\right)$

$M_2 = \left(\frac{d}{2}, 0\right)$

$S = (x, y)$

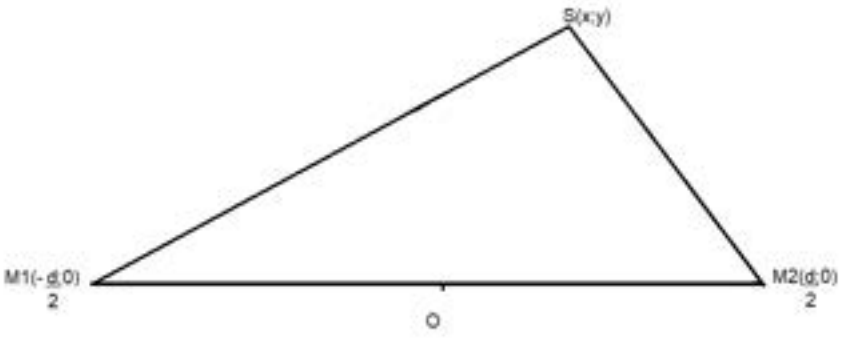


Figura 9- Costruzione analitico-geometrica del modello utilizzato

Si sono tracciate le rette congiungenti il microfono M_1 e il microfono M_2 con la sorgente S. A questo punto, si sono dislocati i microfoni all'interno della stanza ad una distanza di circa 2m e sono stati collegati rispettivamente alle porte analogiche A_0 e A_1, della piattaforma di acquisizione Arduino Uno che si è individuata ottimale per la nostra applicazione. Tramite essi, si è fatta l'acquisizione delle onde acustiche presenti all'interno della stanza e, tramite uno sketch scritto con l'ausilio dell'IDE di Arduino che imposta l'analisi di 100 campioni e che verrà analizzato in seguito, si sono creati due array che sono stati inviati tramite porta seriale a MATLAB che ha svolto le funzioni di elaborazione. Qui viene creato e aperto l'oggetto Porta, che permette di estrarre dalla porta seriale gli array ed elaborarli in modo tale da convertirli da stringhe a numeri. Per calcolare il tempo di ritardo tra i due microfoni, e quindi per capire se la sorgente è più vicina ad un microfono piuttosto che ad un altro, si è calcolata la funzione di cross-correlazione tra le acquisizioni dei due microfoni.

Si ricorda che la cross-correlazione, rappresenta la misura di similitudine di due segnali come funzione di uno spostamento o traslazione temporale applicata su uno di essi. Considerando due segnali a valori reali x e y che differiscono solamente per uno spostamento sull'asse t, si può calcolare la correlazione incrociata per mostrare di quanto y deve essere anticipato per renderlo identico ad x. La formula essenzialmente anticipa il segnale y lungo l'asse t, calcolando l'integrale del prodotto per ogni possibile valore dello spostamento. Per due segnali ad energia finita x e y la cross-correlazione è definita come:

$$Rxy \stackrel{\text{def}}{=} \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(\tau) y(t+\tau) d\tau$$

Dalla funzione di cross-correlazione calcolata se ne consideri il picco individuato dalla funzione $max(y) = [valy\ indy]$. Ora, considerando che Arduino Uno analizza 100 campioni a $4K[Hz]$, si sa che ogni campione è analizzato in $\frac{1}{4000} = 0{,}25ms$ e moltiplicando quest'ultimo valore per il picco della funzione di cross-correlazione al quale si sono sottratti i 100 campioni, si otterrà il Δt di ritardo tra i due segnali:

$$\Delta t = [indy - 100] * 2.5x10^{-4}$$

Considerando che la velocità di propagazione del suono nell'aria è $340\frac{m}{s}$, si può calcolare la distanza associata al tempo di ritardo che sarà necessaria per svolgere poi il problema analitico:

$$r = \Delta t * v_s$$

Adesso che si conosce il ritardo si devono distinguere due casi: $\Delta t < 0$ *e* $\Delta t > 0$.

Se il ritardo è negativo, significa che la sorgente sarà più vicina al microfono che ha coordinate $(\frac{d}{2}, 0)$ e se il ritardo è positivo ci si troverà nella situazione inversa.

- $\Delta t < 0$

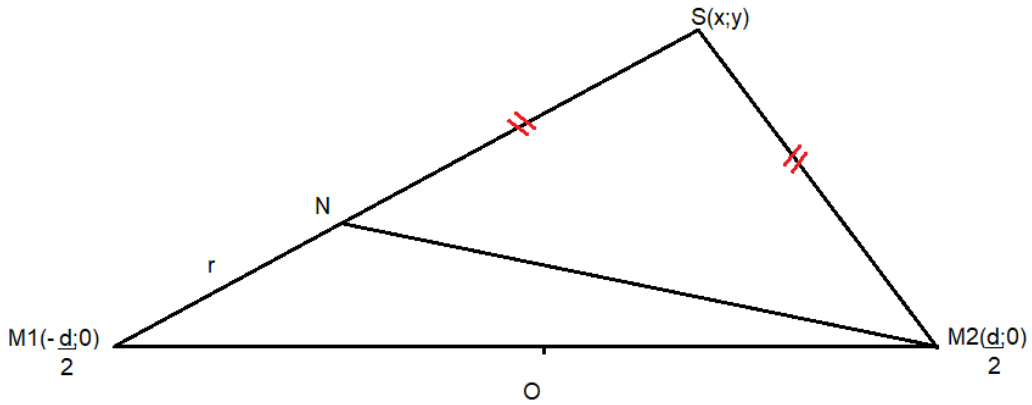


Figura 10-Modello analitico per Δt<0

$$r = \Delta t * v_s = M_1N$$

Ricordando la generica formula per calcolare la distanza tra due punti di cui si conoscono le coordinate $P_1P_2 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ si calcoli:

$$M_1S = \sqrt{(x + \frac{d}{2})^2 + (y)^2}$$

$$M_2S = \sqrt{(x - \frac{d}{2})^2 + (y)^2}$$

Sapendo che $SN = M_1S - r \Rightarrow \sqrt{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + (y)^2} - r$

La condizione necessaria per trovare la curva soluzione è data, considerando che il triangolo SNM_2 è isoscele, da $SN = SM_2$. Esplicitando questa uguaglianza si ottiene:

$$\sqrt{(x + \frac{d}{2})^2 + (y)^2} - r = \sqrt{(x - \frac{d}{2})^2 + (y)^2}$$

$$\left(\begin{array}{c} Dato\ che\ si\ devono\ considerare\ valide\ solo\ le\ soluzioni\ all'interno\ della\ stanza: \\ Dominio \Rightarrow y \geq 0, x \geq 0 \end{array}\right)$$

$$(x + \frac{d}{2})^2 + (y)^2 + r^2 - 2r\sqrt{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + (y)^2} = (x - \frac{d}{2})^2 + (y)^2$$

$$\frac{d^2}{4} + x^2 + dx + r^2 - 2r\sqrt{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + (y)^2} = \frac{d^2}{4} + x^2 - dx$$

$$2dx + r^2 = 2r\sqrt{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + (y)^2}$$

$$4d^2x^2 + 4dr^2x + r^4 = 4r^2(x + \frac{d}{2})^2 + 4r^2y^2$$
$$4d^2x^2 + 4dr^2x + r^4 = 4r^2x^2 + 4dr^2x + 4r^2\frac{d^2}{4} + 4r^2y^2$$
$$4(d^2 - r^2)x^2 - 4r^2y^2 = r^2(d^2 - r^2)$$
$$\frac{4x^2}{r^2} - \frac{4y^2}{(d^2 - r^2)} = 1$$

Come si evince dalla formula canonica

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

si otterrà una iperbole con equazione del tipo:

$$\frac{x^2}{\frac{r^2}{4}} - \frac{y^2}{\frac{d^2 - r^2}{4}} = 1$$

Dove $a = \frac{r}{2}$ $b = \sqrt{\frac{d^2 - r^2}{4}} = \frac{\sqrt{d^2 - r^2}}{2}$

Gli asintoti hanno equazione: $y = \pm\frac{b}{a}x$

mentre il fuoco coinciderà con il microfono M_2.

Osservazione: Si deve passare l'iperbole a MATLAB, ovvero dopo questi calcoli gli si invia la curva e la si rappresenta graficamente con la forma:

$$\begin{cases} x_{c1} = \frac{a}{\cos\vartheta} \\ y_{c1} = b\tan\vartheta \end{cases} \quad \text{con } 0 \le \vartheta \le \frac{\pi}{3}$$

$\Delta t > 0$

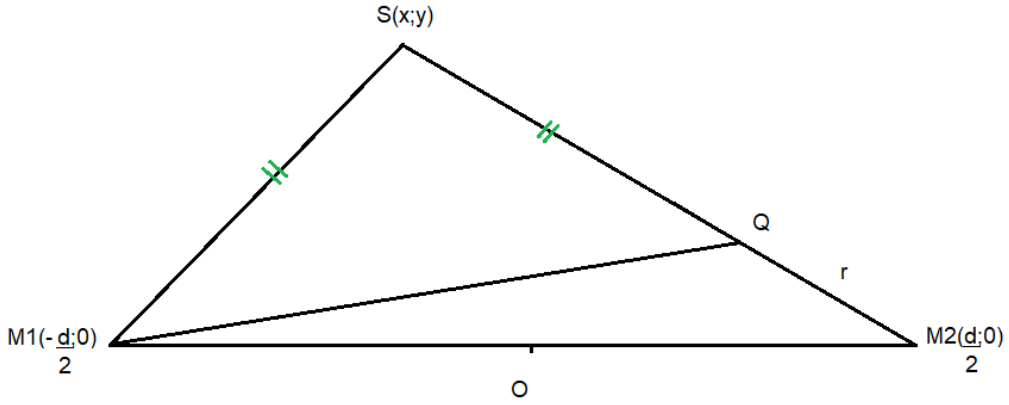


Figura 11-Modello analitico per *Δt>0*

$r = \Delta t * v_s = M_2Q$

Considerando nuovamente la formula per calcolare la distanza tra due punti, si è calcolato:

$$M_1S = \sqrt{(x + \frac{d}{2})^2 + (y)^2}$$
$$M_2S = \sqrt{(x - \frac{d}{2})^2 + (y)^2}$$

Si osservi che $SQ = M_2S - r$ esplicitando l'equazione si ottiene:

$$SQ = \sqrt{(x-\frac{d}{2})^2 + (y)^2} - r$$

Da cui, come nel caso precedente, si ottiene la condizione necessaria per la curva soluzione data dal fatto che il triangolo M_1QS è un triangolo isoscele e quindi $M_1S = SQ$

$$\sqrt{(x+\frac{d}{2})^2 + (y)^2} = \sqrt{(x-\frac{d}{2})^2 + (y)^2} - r$$

$$\begin{pmatrix} Dato\ che\ si\ devono\ considerare\ valide\ le\ soluzioni\ all'interno\ della\ stanza \\ Dominio \Rightarrow y \geq 0\ x \geq 0 \end{pmatrix}$$

$$(x-\frac{d}{2})^2 + y^2 + r^2 - 2r\sqrt{\left(x-\frac{d}{2}\right)^2 + (y)^2} = \left(x+\frac{d}{2}\right)^2 + y^2$$

$$x^2 + \frac{d^2}{4} - dx + y^2 + r^2 - 2r\sqrt{\left(x-\frac{d}{2}\right)^2 + (y)^2} = x^2 + \frac{d^2}{4} + dx + y^2$$

$$-2dx + r^2 = 2r\sqrt{(x-\frac{d}{2})^2 + (y)^2}$$

$$4d^2x^2 + r^4 - 4dr^2x = 4r^2(x^2 + \frac{d^2}{4} - dx + y^2)$$

$$4(d^2 - r^2)x^2 - 4r^2y^2 = r^2d^2 - r^4$$

Da cui si ottiene nuovamente una iperbole:

$$\frac{x^2}{\frac{r^2}{4}} - \frac{y^2}{\frac{d^2-r^2}{4}} = 1$$

Dove $a = \frac{r}{2}$ $b = \sqrt{\frac{d^2-r^2}{4}} = \frac{\sqrt{d^2-r^2}}{2}$

Gli asintoti hanno equazione: $y = \pm\frac{b}{a}x$

Mentre il fuoco coinciderà con il microfono M_1.

La rappresentazione grafica con MATLAB è:

$$\begin{cases} x_{c2} = \frac{a}{\cos\vartheta} \\ y_{c2} = b\tan\vartheta \end{cases} \text{ con } 0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{3}$$

Da questa trattazione è chiaro che in entrambi i casi, considerando il dominio di esistenza della curva soluzione, si otterrà un arco di iperbole che rappresenta il luogo geometrico dei punti nei quali si può trovare la sorgente. Si è notato che per avere la soluzione puntuale, che rappresenti l'esatta posizione della sorgente all'interno del piano, si deve necessariamente considerare un'altra coppia di sensori, quindi almeno tre, in modo tale da poter intersecare tra di loro i due archi di iperbole. La soluzione dell'intersezione saranno le coordinate della sorgente sul piano. Questa osservazione è nata considerando una serie di casi particolari nella trattazione a due sensori, nei quali la localizzazione non risulta definita.

- Caso della sorgente posizionata nel punto medio tra i due sensori:

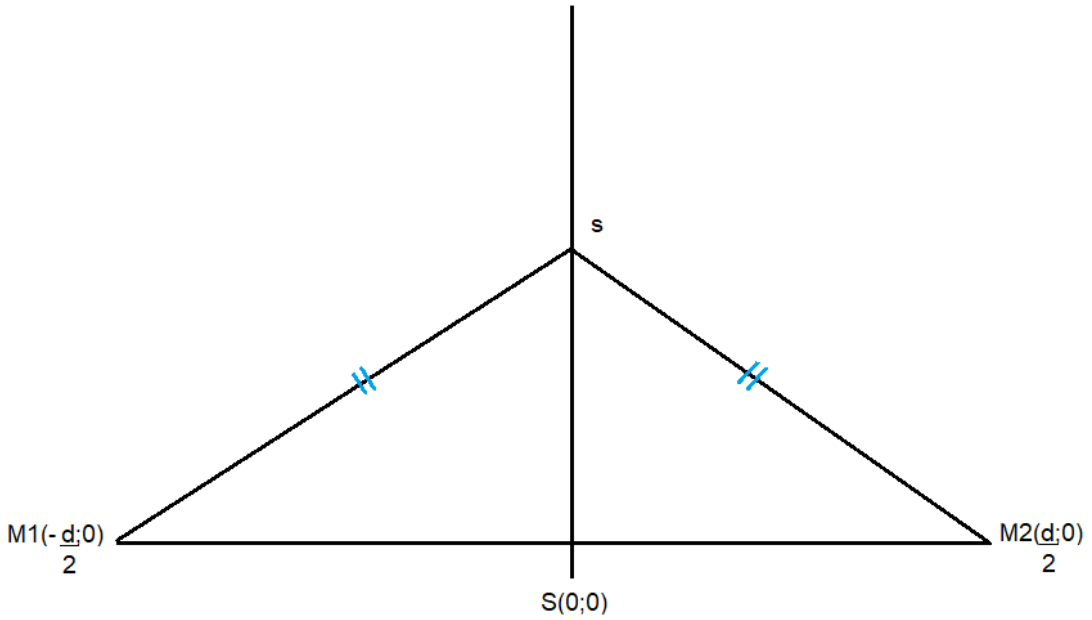


Figura 12- Modello analitico per Δt=0

In questo caso, se la sorgente è posizionata esattamente a metà distanza tra i due microfoni, non ci sarà alcun ritardo dovuto al tempo di propagazione del segnale e l'onda acustica arriverà allo stesso tempo ad entrambi i microfoni. Si ottiene $\Delta t = 0$.
Segue che la distanza r associata al tempo di ritardo se nullo, sarà anch'essa nulla e dunque $r = 0$. Difatti, la cross-correlazione utilizzata per calcolare il tempo di ritardo sarà una TRI di base 200 campioni e avente il picco in 100 campioni che coincidono esattamente con quelli dichiarati nello sketch di Arduino.
La distanza tra M_1S e M_2S è pari a $\frac{d}{2}$ e la soluzione è la retta s perpendicolare al punto medio che coincide con la sorgente.
Dalla trattazione analitica, si è passato a considerare il problema fisico dell'implementazione del sensore vero e proprio. Le funzioni principali che deve svolgere il sensore sono quelle di acquisizione del segnale all'interno della stanza ed elaborazione e per tale ragione si è pensato di utilizzare due piattaforme differenti: Arduino Uno dedicato alla parte di acquisizione e MATLAB dedicato alla parte di elaborazione e calcolo. Di conseguenza, questi due organi dovranno comunicare tra loro e lo faranno tramite una porta seriale e uno sketch dedicato su Arduino Uno.
I due microfoni, già dotati di un circuito di filtro e amplificazione che si vedrà qui di seguito, hanno tre collegamenti ciascuno: uno per l'alimentazione a 5V di Arduino Uno, uno per la massa e uno per connetterlo ai pin analogici o di A0, o di A1. Prima di vedere come queste due utility comunichino tra loro e le azioni che svolgono, si deve analizzare l'elettronica dedicata a questa progettazione.
Punto di partenza per l'acquisizione del segnale acustico è senza dubbio il microfono, ovvero un trasduttore che è in grado di convertire l'onda di pressione sonora in segnale elettrico. La tecnologia costruttiva dei diversi tipi di microfoni si basa sulle diverse utilizzazioni che hanno. Le capsule microfoniche a condensatore sono quelle che sono state prese in considerazione per l'implementazione del sensore. Sono spesso utilizzate negli studi di registrazione in cui queste capsule hanno il rapporto segnale/rumore SNR più alto tra le varie tipologie, inoltre rappresentano la soluzione migliore per catturare vasti range di frequenze; quella di interesse per questa trattazione sarà ovviamente compresa tra i $20[Hz]$ e $20k[Hz]$.
Il principio di funzionamento differisce dagli altri microfoni, in quanto si basa sul principio della variazione della capacità del condensatore. La tecnica offre varie tipologie di microfoni che si adattano alle varie specifiche applicazioni, con tensioni di alimentazione che vanno da 48V fino alle capsule che possono essere collegate direttamente con la porta USB, necessitando di un'alimentazione non superiore ai 5V come nel nostro caso.

La capsula è realizzata tramite un condensatore costituito da due armature di superficie S poste a distanza *d* l'una dall'altra. Un'armatura sarà fissa "backplate", che ha un riferimento a terra, ed avrà il compito di proteggere la parte interna del circuito della capsula, estremamente delicato; l'altra sarà mobile "diaframma" ed è costituita da fogli di mylar dorati, una resina termoplastica. Al "diaframma" inoltre, è fornita una quantità di carica che, eccetto i primi passaggi di corrente in cui il condensatore viene caricato, è costante $Q = CV$; infatti prima di poter essere utilizzato il microfono a condensatore necessita di alcuni secondi che permettono la polarizzazione della capsula facendo entrare il sistema a regime. Quest'ultima è una condizione necessaria che si basa sul principio di funzionamento dei condensatori. Trattandosi di capacità e carica costante, ricordiamo le loro definizioni, e mettendole in relazione:

$C = \varepsilon\frac{S}{d}$ & $Q = CV$ si ottiene $V = \frac{Qd}{S\varepsilon}$

Osservando l'equazione ottenuta, si comprende da cosa è influenzato il segnale di uscita:

- *Q* è necessariamente una costante.
- $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_m$ è la costante dielettrica del mezzo in cui si propaga l'onda sonora, ovvero l'aria.
- *S* rappresenta la grandezza delle armature della capsula quindi è costante.

L'unico elemento che varia è la distanza *d* delle armature del condensatore, spiegando il principio di funzionamento della capsula. La variazione *Δd* è imposta dal fatto che all'impatto dell'onda acustica di pressione l'armatura elastica ricoperta in oro si avvicina e si allontana rispetto al "backplate" e questa variazione di distanza corrisponde, a parità delle costanti precedentemente elencate, ad una variazione della tensione di uscita *ΔV*. Tuttavia, la capsula non ha un grande rendimento per questo viene aggiunto nel corpo del microfono uno stadio di amplificazione: le variazioni di distanza sono piccolissime, e di conseguenza lo saranno anche quelle di tensione in uscita. Quindi, il circuito di amplificazione svolge un ruolo molto importante nei microfoni con capsule a condensatore, tant'è che la bontà di un microfono di questo tipo si basa, oltre che sulla bontà della realizzazione della capsula microfonica, anche sul circuito di amplificazione. La grandezza che esprime la bontà di un microfono è la sensibilità che si misura in $\frac{mV}{Pa}$.

I microfoni a condensatore hanno una sensibilità direzionale, espressa da una rappresentazione polare su di un piano, in funzione della direzione di provenienza del segnale acustico. In sintesi, rappresenta la capacità del microfono di catturare il segnale. Questo tipo di diagramma si presenta come una linea curva chiusa e simmetrica rispetto all'asse del microfono, al cui interno si trova contenuto il polo che rappresenta la "punta" del microfono stesso: la linea fornisce una rapida indicazione visiva di come l'intensità di risposta sia geometricamente distribuita intorno al microfono stesso. Le figure più comuni e adatte al nostro tipo di sensore sono:

- Omnidirezionale: il microfono cattura indistintamente i segnali provenienti da tutte le direzioni intorno alla capsula.
- Bidirezionale: il microfono cattura allo stesso livello sia i segnali provenienti dal fronte che dal retro della capsula.
- Unidirezionali: La sensibilità varia a seconda della direzione di provenienza del suono.

1. Cardioide: Il microfono cattura solo segnali provenienti sul fronte della capsula
2. Supercardioide: Il microfono cattura segnali provenienti sul fronte della capsula, e in piccola parte segnali provenienti sul retro della capsula.
3. Ipercardioide: Il microfono cattura segnali provenienti sul fronte della capsula e in maniera abbastanza consistente anche segnali provenienti sul retro della capsula.

Di seguito sono riportate le figure di pattern delle sensibilità delle varie tipologie di microfoni

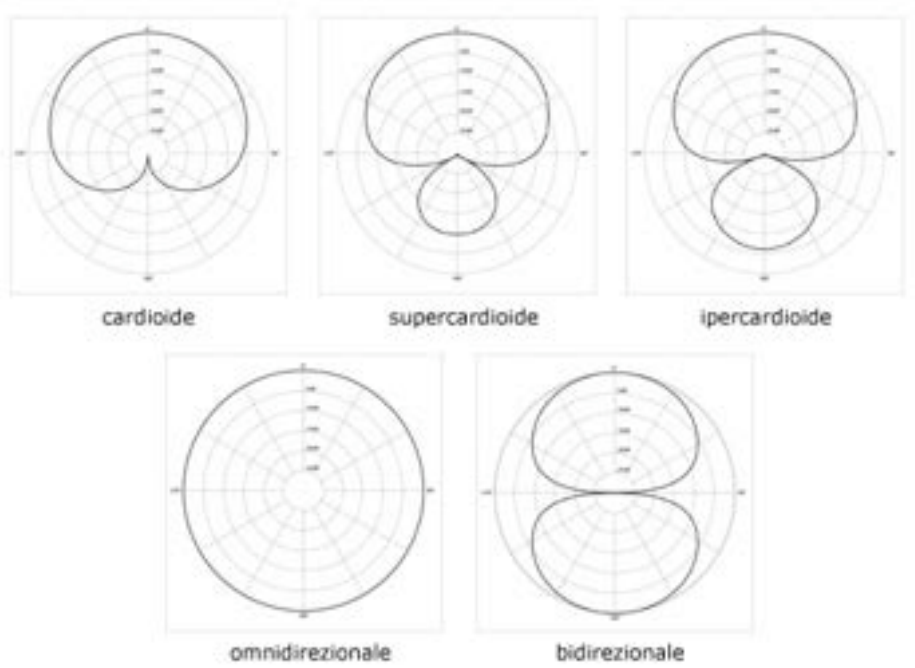


Figura 13-Pattern Polari delle sensibilità delle varie tipologie di microfoni

Le principali specifiche tecniche delle capsule scelte per questo lavoro.

Directivity	**Omnidirectional**
Sensivity	f=1K[Hz], 1Pa, 0dB=1V/Pa
Zout	f=1K[Hz], 1Pa
Frequency	Min 100 – Max 20'000 [Hz]
SNR	f=1K[Hz], 1Pa
Dimensions	0.40x1.5 mm

Fig. 13 Tabella riassuntiva delle principali caratteristiche tecniche della capsula microfonica

Di seguito è mostrato nel dettaglio, lo schema circuitale dello stadio di amplificazione.

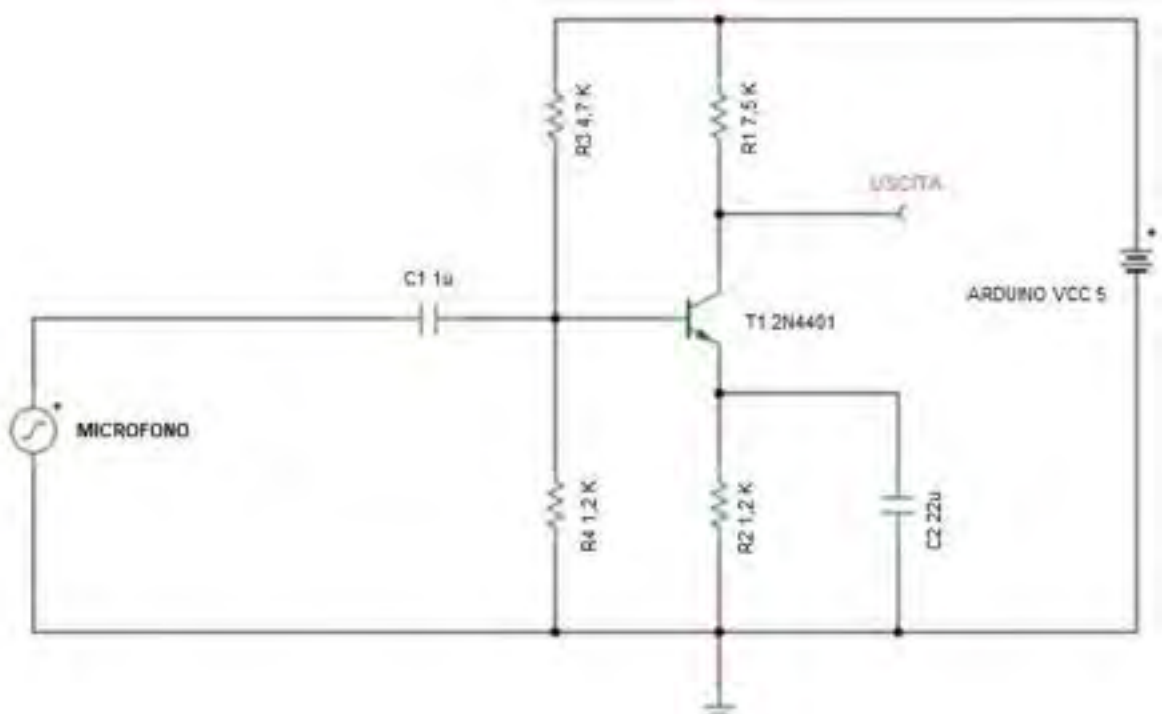


Figura 14-Circuito di amplificazione del segnale microfonico

Come si evince dalla figura, il circuito è collegato a massa ed è alimentato tramite l'alimentazione di Arduino Uno con la tensione di 5Vcc.
Il microfono trasduce il segnale, che viene inviato alla coppia C_1R_4 che costituiscono un filtro passa alto. L'uso di questo filtro viene permette il passaggio delle sole frequenze al di sopra di un dato valore f_s (frequenza di taglio) mentre l'altro spettro è attenuato. Ricordando la funzione di trasferimento e la costante di tempo:

$$H(j\omega) = \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau} \quad con \ \tau = RC$$

La funzione di questo filtro passa alto è quella di bloccare la componente continua della corrente e di lasciar passare solo l'alternata.
Più avanti si trova un altro filtro, il passa basso formato dalla coppia C_2R_2. Con questo filtro vengono ammesse tutte le frequenze che si trovano al di sotto della frequenza di taglio f_s mentre le altre sono attenuate. Ricordando la funzione di trasferimento e la costante di tempo:

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau} \quad con \ \tau = RC$$

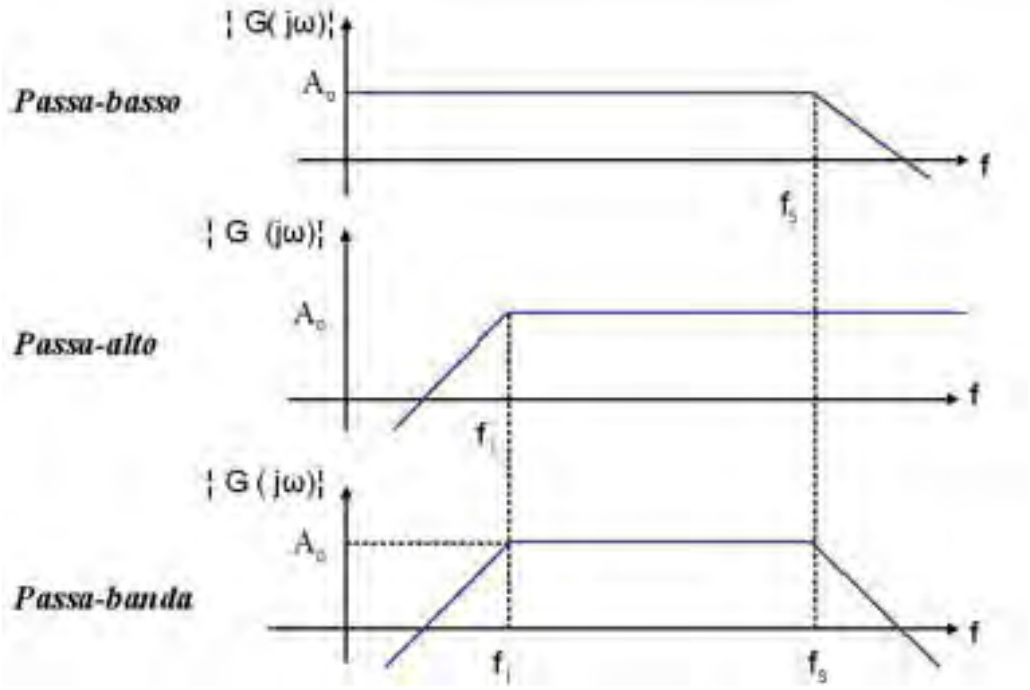


Figura 15-Filtro passa basso, passa alto e passa banda

La ragione per cui si inseriscono questi due filtri all'interno del circuito di amplificazione è data dal fatto che la loro combinazione forma un filtro passa banda, che permette di attenuare tutte le frequenze che non si trovano all'interno della banda di interesse. In questo caso, la banda coinciderà con la banda di frequenze udibili dall'orecchio umano che vanno dai 20[Hz] ai 20K[Hz].
Si osservi che questo circuito si basa su di un transistor BJT, un dispositivo a tre terminali largamente utilizzato nel campo dell'elettronica analogica principalmente come amplificatore o interruttore. Si rimandi all'appendice per la scheda tecnica del BJT.

Sono riportati i listati del software Arduino e MatLab

```
const int analogInPin = A0;

const int analogInPin1 = A1;

int sensorValue[100];
```

```
int sensorValue1[100];

const int PinOut = 12;

void setup() {

  Serial.begin(115200);

  pinMode(PinOut,OUTPUT);

}
void loop() {
  if (Serial.available() > 0) {
    //get incoming byte:
    while(Serial.read() != 'S');
    for(int i=0; i<100;i++) {
      digitalWrite(PinOut, HIGH);
      //read the analog in value;
      //delayMicroseconds(125);
      sensorValue[i] = analogRead(analogInPin);
      sensorValue1[i] = analogRead(analogInPin1);
    }
    digitalWrite(PinOut, LOW);
    for(int i=0;i<100;i++) {
      Serial.println(sensorValue[i]);
    }
    delay(100);
    for(int i=0;i<100;i++){
      Serial.println(sensorValue1[i]);
    }}
  //print the results to the Serial Monitor:
  /*  Serial.print("sensor = ");
    *   Serial.print(sensorValue);
    *   Serial.print("/t  output = ");*/
   delay(1000);
}
```

Per prima cosa si dichiarano due variabili costanti di cui non si andrà a modificarne il valore ma serviranno per indicare i pin analogici A_0 *e* A_1nei quali sono connessi i due microfoni. Si dichiarano due vettori interi chiamati “sensorValue” e “sensorValue1” di lunghezza pari ai 100 campioni che si vogliono analizzare; ogni casella dell’array avrà un valore compreso tra 0 e 1023. Infine viene dichiarata la costante intera “PinOut” che rappresenta il pin numero 12 di Arduino.
Nel codice di “setup”, che verrà eseguito una sola volta, si inizializza la comunicazione seriale a 9600 bit per secondo e viene dichiarato il pin di uscita sul quale si vuole erogare corrente, ovvero il pin 12 “PinOut” con modalità OUTPUT.
Nel codice di “loop”, che verrà eseguito ciclicamente, se il numero di byte disponibili per la lettura della porta seriale è maggiore di zero, inizia a leggere i byte fino a che non arriva ad Arduino la stringa “S” che gli indica di iniziare l’acquisizione. Quando giunge questa stringa si accende il led di Arduino, si inizializza un ciclo “for” con una variabile contatore che rappresenta l’indice dell’array e si iniziano a riempire le caselle dei vettori leggendo i valori analogici dei segnali e convertendoli in digitali. Si aspettano 125 ms tra un’acquisizione ed un’altra e successivamente, con un delay di 100 ms, i vettori vengono stampati sullo schermo seriale.

```
Porta=serial('/dev/ttyACM0','BaudRate',115200,'Terminator','CR','InputBufferSize',4096);
fopen(Porta);
```

```
fprintf(Porta,'S');

for i=1:100
   mic1(i)=str2num(fscanf(Porta));
end
for j=1:100
   mic2(j)=str2num(fscanf(Porta));
end
y=xcorr(mic1,mic2);    %%si faccia la cross-correlazione tra i due segnali
[indy,valy]=max(y);
deltat=(indy-100)*2.5e-4; %%si calcoli il tempo di ritardo tra i due segnali
d=2.0; %%distanza tra i microfoni

r=deltat*340; %%si calcoli la distanza associata al tempo di ritardo
 A=(abs(r)/2);
B=sqrt(d^2-r^2)/2;

if deltat<0
   teta=linspace(0, pi/3, 100);
   Xc1=A./cos(teta);
   Yc1=B*tan(teta);

   plot(Xc1,Yc1,'b*');
   xlabel('asse Xc1');
   ylabel('asse Yc1');
   title('Localizzazione sorgente');
   box off
end

if deltat>0
   beta=linspace(0, pi/3, 100);
   Xc2=-A./cos(beta);
  Yc2=B*tan(beta);

   plot(Xc2,Yc2,'m*');
   xlabel('asse Xc2');
   ylabel('asse Yc2');
   title('Localizzazione sorgente');
   box off
end
```

Per quanto riguarda il codice di MATLAB si procede con i seguenti passi: prima di tutto viene creato l'oggetto seriale "Porta" nel quale sono specificati parametri come l'uscita della USB, la velocità di comunicazione con la piattaforma impostata a 115200ms, che dovranno essere uguali sia per Arduino che per MATLAB, il Terminator che specifica di andare a capo una volta finita l'acquisizione di un array, e viene specificata la dimensione della memoria (Buffer).
Di seguito, viene aperto l'oggetto Porta e viene inviata la stringa "S" che inizializza l'acquisizione. I vettori poi, ritornano a MATLAB dove con due cicli for vengono convertiti da stringhe a numeri. Da qui si procede direttamente chiamando la funzione di cross-correlazione e la funzione "max()" che indica l'indice e il valore massimo del picco della funzione di cross-correlazione.
Il valore dell'indice verrà sottratto ai 100 campioni analizzati e il risultato sarà moltiplicato per 2.5 ms ottenuti dall'analisi di un singolo campione a 4K[Hz]:

$$100\ campioni\ a\ 4 * 10^3[Hz] \Rightarrow 1\ campione\ ogni\ \frac{1}{4000} = 0{,}25ms$$
$$0{,}25ms * 100 = 25ms$$

Ottenuto il tempo di ritardo indicato nel codice come "deltat" si può calcolare la distanza associata al tempo di ritardo r moltiplicandolo "deltat" per la velocità del suono che corrisponde a $340\frac{m}{s}$.
Segue la distinzione tra il caso in cui il ritardo è positivo, e il caso in cui il ritardo è negativo che vengono trattati con due istruzioni "if". Quindi, per il ritardo negativo, si crea una variabile "teta" con la funzione "linspace", che crea un vettore lineare compreso tra 0 e $\frac{\pi}{3}$ con risoluzione pari a 100, che sarà l'ampiezza dell'angolo che consente di tracciare il grafico soluzione: una iperbole. Con riferimento alle coordinate polari, si scrivono ascissa e ordinata della iperbole come:

$$\begin{cases} X_{c1} = \dfrac{a}{\cos\vartheta} \\ Y_{c1} = b\tan\vartheta \end{cases}$$

Con le funzioni "xlabel", "ylabel" e "title" rispettivamente si personalizzano gli assi con delle etichette e si inserisce il titolo del grafico. Con la funzione "plot" si traccia la iperbole finale.
Si eseguono le stesse istruzioni per "deltat" maggiore di zero.
Si tenga conto del fatto che i 100 campioni analizzati sono stati volontariamente scelti e se si volesse cambiare questo valore, lo si deve fare andando a modificare la lunghezza dei vettori nello sketch di Arduino e le variabili contatori nei for di MATLAB.

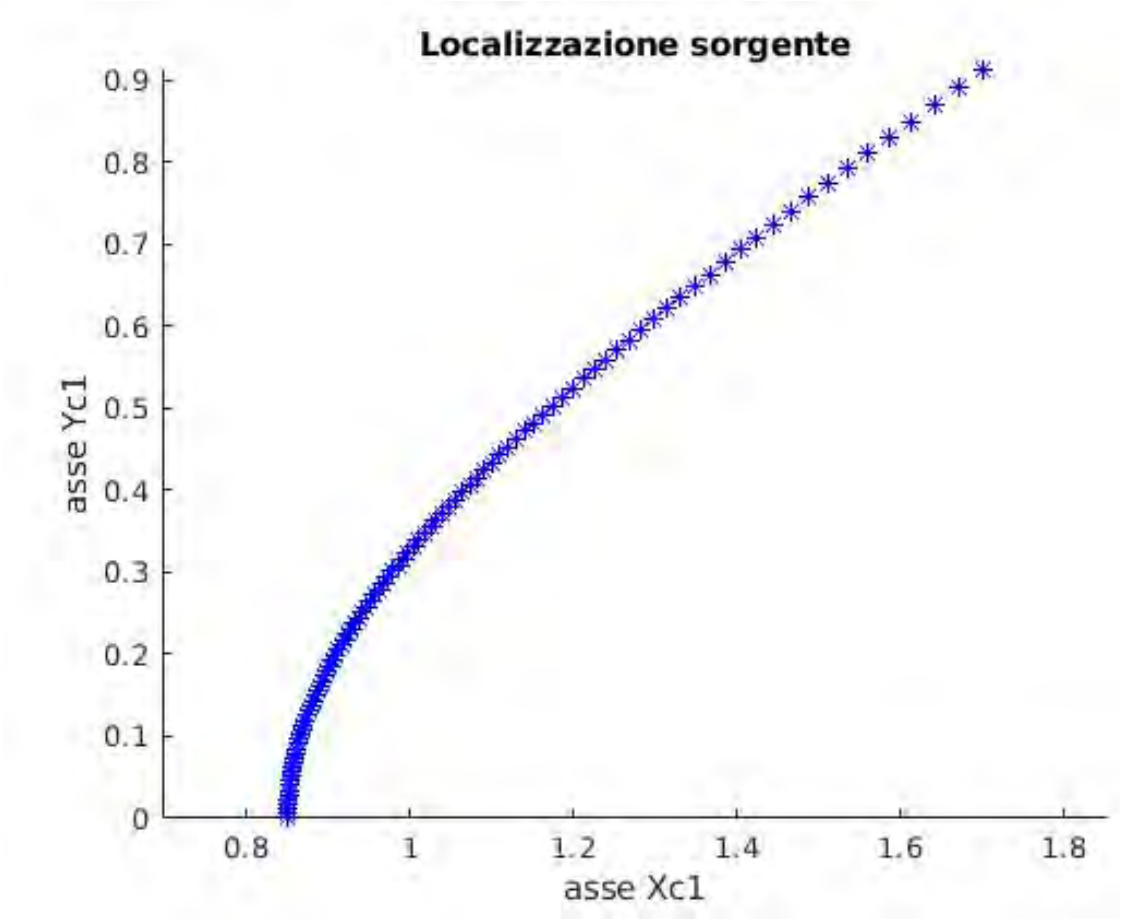


Figura 16-Plot della soluzione della localizzazione di MATLAB per Δt<0

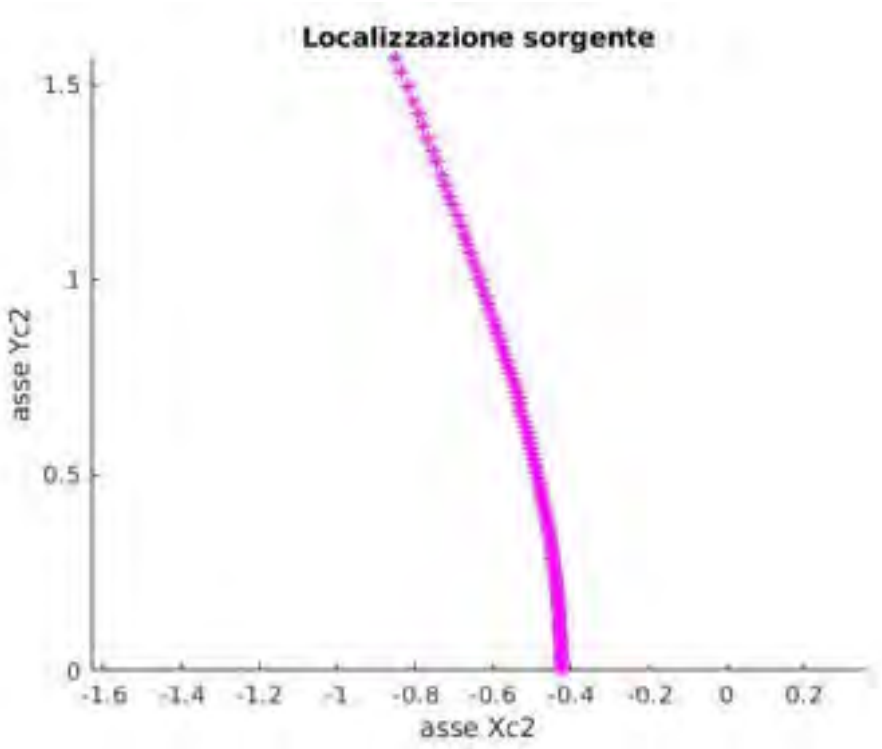


Figura 17-Plot delle soluzione di localizzazione di MATLAB per Δt>0

Riassumendo l'architettura del sistema implementato per questo studio di fattibilità che ha poi portato a definire un primo dimostrativo e prototipo funzionante comprende:

- Due capsule microfoniche
- Due stadi di amplificazione
- Una piattaforma Arduino Uno
- Una porta seriale
- Un pc nel quale è installato MATLAB R2018a
- Un monitor seriale per la visualizzazione

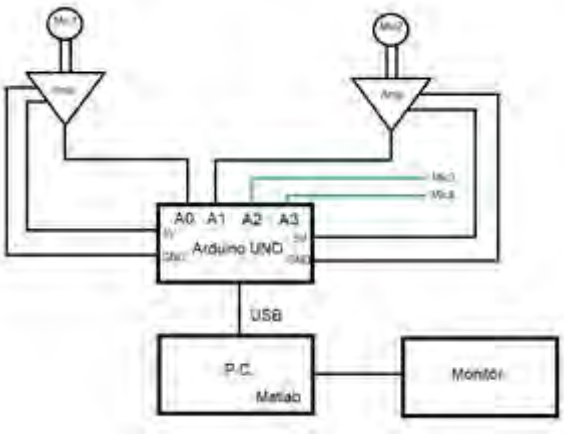


Figura 18- Architettura del Sistema Strumentale

Il dispositivo è stato posto all'interno di una stanza di prova, (si faccia riferimento alla piantina per il posizionamento) nella quale erano presenti due persone che parlavano tra di loro, ognuna vicina ad un

microfono. In questa situazione, si è prima caricato lo sketch, tramite l'IDE di Arduino, sulla piattaforma e subito dopo si è eseguita l'istruzione "Run" di MATLAB per eseguire il codice di elaborazione. I microfoni, acquisiscono i segnali audio all'interno della stanza e vengono amplificati dal circuito di amplificazione.



Figura 19-Capsula microfonica a condensatore

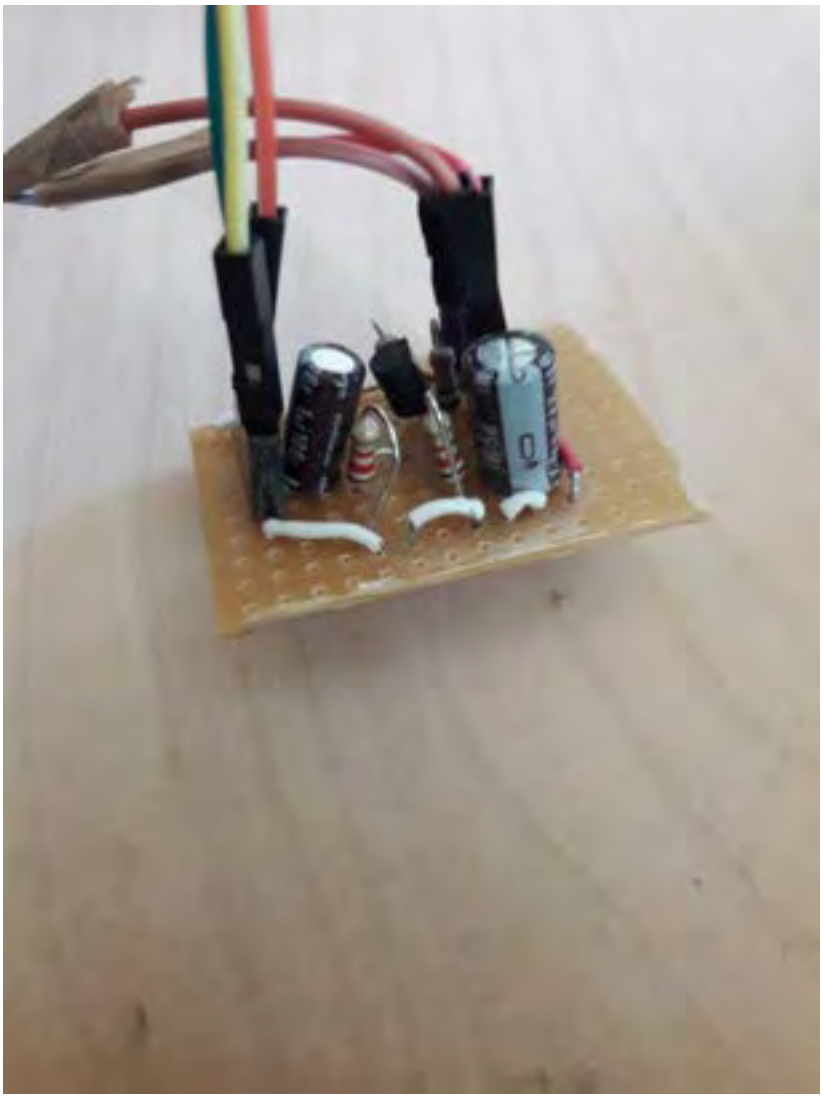


Figura 20-Circuito di Amplificazione

Quest'ultimo è collegato alla piattaforma Arduino Uno che comunica tramite porta USB con il pc sul quale gira il codice MATLAB.

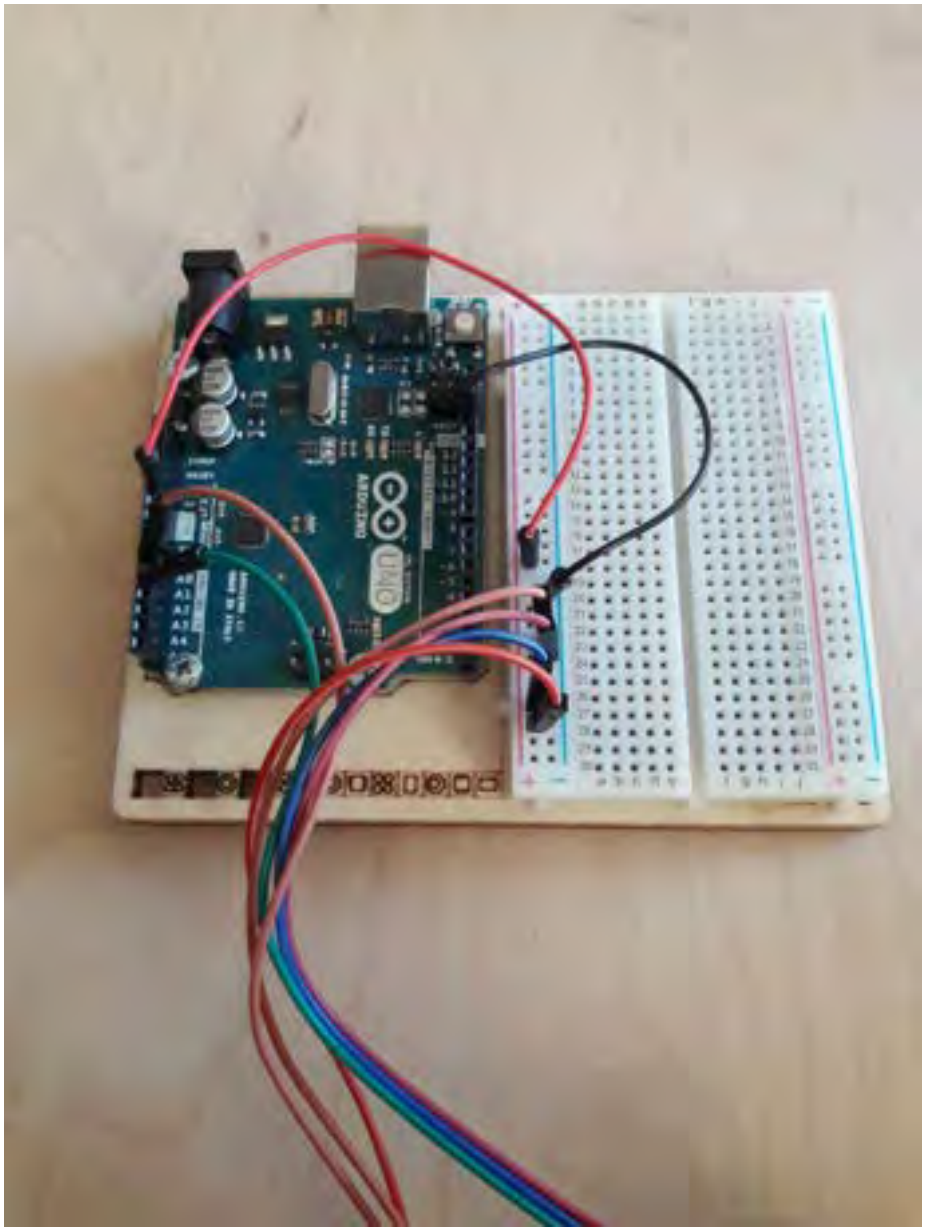


Figura 21-Piattaforma Arduino UNO

Il risultato dell'elaborazione è una iperbole, luogo geometrico dei punti soluzione del problema affrontato con due sensori. Per ottenere il punto esatto della posizione della sorgente, è necessario predisporre un'ulteriore coppia di sensori su cui operare nello stesso modo; anche questa coppia di microfoni restituirà un'altra iperbole. Mettere a sistema le due iperboli significa ottenere due punti soluzione su di un piano e sarà da escludere quello che è al di fuori delle condizioni di ammissibilità.

Se si vuole estendere la trattazione nel volume dell'ambiente monitorato si dovranno considerare tre sensori sul piano e un ulteriore sensore per discriminare l'altezza, quindi si avranno un minimo di quattro sensori (tre coppie di microfoni) che restituiranno tre iperboli a MATLAB che possono essere risolte con il precedente algoritmo esteso al volume.



Figura 22-Vista d'insieme della disposizione strumentale

2.4 Conclusioni

Le attività svolte in collaborazione con Innosensor S.r.l. e Università Roma Tre, in un'ottica più generale, sono state molto produttive perché hanno fatto crescere ed avvicinare il Sistema Sesto Senso ad una forma industriale più matura e completa e quindi più vicina ad un prototipo ingegnerizzato quasi pronto per il mercato. Le stesse attività lo hanno anche arricchito di un'altra utility quale quella della interpretazione acustica di un ambiente, dotazione importantissima per analisi ed elaborazioni volte a proporre applicazioni in svariati campi negli ambienti indoor come quelli dell'assisted living, della diagnostica, della automazione e della ottimizzazione dell'uso energetico negli ambienti indoor. Oggi siamo in grado di installare il Sistema Sesto Senso non più in un laboratorio ma in un contesto domotico integrato per testarlo e consentire quindi a seguito di un feedback proveniente dal "campo" le correzioni e modifiche prima di proporlo al mercato della domotica.

3 Disaggregazione consumi elettrici

In collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ingegneria Informatica, è stato condotto lo sviluppo di modelli e di strumenti basati sul machine learning per la disaggregazione dei dati di consumo elettrico domestico residenziale generale nelle componenti attribuibili ai singoli elettrodomestici, come descritto nel Report RdS/PAR2017/048 – "Deep Learning per la disaggregazione di consumi elettrici di edifici residenziali".
Il problema della disaggregazione dei consumi elettrici viene affrontato in letteratura con il nome di NILM Non Intrusive Load Monitoring, e consiste nel problema di determinare i contributi individuali degli apparecchi al consumo di energia aggregato. Questo tipo di studio consente di fornire informazioni dettagliate sui consumi agli utenti, che li inducono a modificare le loro abitudini verso un uso più saggio dell'energia elettrica. L'obiettivo era quello di misurare il consumo elettrico di ogni elettrodomestico su cui fosse installata una smart plug in 8 case situate a Roma per cui sono stati raccolti i dati. Prima di procedere ad esaminare questo insieme di dati si è studiata la letteratura e si è considerato il dataset UKDALE descritto in [4], dove sono raccolti i dati dei consumi di 5 case raccolti per 3 anni, con diversi elettrodomestici.
Si è scelto di considerare prima il dataset proposto dalla letteratura per validare la bontà del modello prodotto in quanto erano disponibili in letteratura risultati ottenuti su questo dataset che ci hanno fatto da benchmark.
L'attività è stata caratterizzata da 3 fasi: il pre-processamento e pulizia dei dati, realizzazione di diversi modelli presenti in letteratura e loro validazione tramite il dataset UKDALE descritto in [4] a disposizione in letteratura, e infine applicazione del modello migliore ai dati delle case ENEA.

3.1 Pre-processamento e analisi dei dati delle case ENEA:

Il primo passo per utilizzare i dati è stato quello di analizzare i dati disponibili per ogni casa in termini sia di numerosità dei dati intesi come rilevazioni dello smart meter, che dei dati rilevati tramite smart plug da ogni elettrodomestico. Alcune case sono state escluse in quanto i dati erano presenti solo per pochi giorni (ENEA_1,ENEA_5, ENEA_6, ENEA_10), come si evince dalla Figura 1. Per altre case (come ENEA3), sono presenti solo i dati dello smart meter mentre i dati raccolti per i singoli elettrodomestici sono disponibili solo per pochissimi giorni, rendendo l'abitazione inutilizzabile. Una situazione simile si ha anche per le case ENEA_4 e ENEA_9 per cui si hanno moltissimi giorni in cui non si hanno dati su nessun elettrodomestico, e con molti dati mancanti. Questo è evidente dalla figura 2 in cui sono riportati dei grafici che riassumono la disponibilità dei dati per elettrodomestico nell'arco temporale.



Figura 23-per ogni casa sono mostrati i dati disponibili relativamente all'anno 2017 (in verde i giorni in cui sono presenti delle rilevazioni)

In particolare, si hanno buchi anche di settimane per cui è impossibile intervenire con tecniche di sostituzione di dati mancanti quali media o mediana o simili.



Figura 24-numerosità dei dati per elettrodomestico

Come si evince dalla figura, le case con il maggior numero di dati sono ENEA 7 e ENEA 8, che rappresentano quindi l'insieme dei dati che sono stati presi in considerazione. Anche così ci sono comunque numerosi dati mancanti che sono stati rimpiazzati utilizzando la mediana puntuale del giorno corrispondente dello stesso giorno della settimana precedente e successiva.

Un altro problema riscontrato nei dati è stata la presenza di numerosi outliers, ovvero misurazioni troppo elevate rispetto all'effettivo consumo possibile di quell'elettrodomestico. In questo caso si è proceduto sostituendo con un valore massimo congruente con il consumo massimo possibile per l'elettrodomestico considerato.

Per questa fase di data cleaning si sono utilizzate una serie di librerie, già note in letteratura per la risoluzione di problemi simili, dette **nilmtk**, integrate con codici Python ed R ad-hoc per l'utilizzo sulle case di Enea. Il convertitore nilmtk offre un'interfaccia unificata, grazie alla quale possiamo analizzare statisticamente i nostri dati sotto forma di serie temporali, applicare fasi di pre-processing, utilizzare algoritmi di disaggregazione pre-implementati ed eseguire la conversione del dataset (spesso spezzettato in più files) in un unico file, fornendo cosi una versione compatta e facilmente utilizzabile dell'intero set di dati. Prima di approfondire l'utilizzo del convertitore, è stato sviluppato un piccolo script in R in grado di mostrare la distribuzione dei dati all'interno di ogni singola casa, in modo tale da capire quali fossero le case con il maggior numero di informazioni utili da utilizzare per lo studio del miglior modello. Questa fase preliminare è stata necessaria in quanto non tutte le case possiedono gli stessi elettrodomestici ed in particolare non è detto che tutti i giorni ci sia stato un campionamento dei dati. In Figura 3 è mostrato un esempio di calendar, utilizzato per l'estrazione della distribuzione delle informazioni.



Figura 25-Distribuzione elettrodomestici Enea 7

Il risultato di questa fase è un dataset completo con una granularità molto fine (al secondo), pronto per essere fornito al modello implementato.
Dopo aver completato la fase di conversione, il file può essere fornito in input ad una serie di script Python,

3.2 *Modello di Machine Learning utilizzato*

Prendendo spunto dalla letteratura ([1-7]) si è fatto uso di modelli di machine learning basati su reti neurali deep, ovvero composte da molti strati, addestrate con tecniche di addestramento supervisionato.

Per il problema specifico, seguendo l'approccio proposto in [5] sono state implementati due modelli differenti, una rete ricorrente detta LSTM ed una rete Feed-Forward che fa uso di Denoising AutoEncoder. Entrambe le reti sono state prima valutate utilizzando il dataset UKDALE, al fine di fornire un benchmark per l'addestramento sulle case di Enea.

3.2.1 Long Short-Term Memory

La Long Short-Term Memory è un tipo di rete neurale ricorrente profonda, in cui le celle di memoria sono dette LSTM ed hanno la particolare caratteristica di riuscire ad individuare le dipendenze tra dati contenuti in un ampio intervallo temporale.
L'idea fondamentale è che la rete ha la facoltà di imparare quali dati memorizzare nello stato a lungo termine, quali invece non devono essere memorizzati e quali dati leggere da esso.
La rete LSTM è stata implementata utilizzando la libreria Keras, che offre l'implementazione degli strati più utilizzati per la realizzazione di modelli di machine learning.

Ad ogni istante temporale, la rete riceve in input uno specifico dato di segnale aggregato e restituisce in output un dato disaggregato, relativo all'elettrodomestico scelto per l'addestramento.
Come detto in precedenza, prima di procedere con l'addestramento sui dati reali di Enea, la rete è stata valutata sul dataset UKDALE per verificarne la corretta implementazione e fornire una metrica di confronto. In Figura 8 viene mostrato un esempio di addestramento e valutazione su un test set (quindi non utilizzato per l'addestramento).

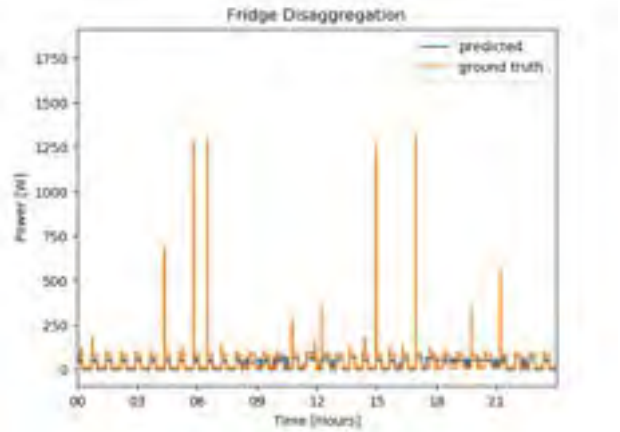


Figura 26-esempio di predizione del modello sul test set

In particolare, si sono utilizzati circa 3 anni di dati appartenenti alla casa 1 di UKDALE per addestrare la rete, mentre la casa 2 è stata utilizzata per valutare la bontà del modello. L'elettrodomestico utilizzato è stato il frigorifero, sul quale si è ottenuto un MAE pari a 28 sui dati del test set.

3.2.2 Denoising Autoencoder

Il Denoising Autoencoder è una particolare tipologia di Autoencoder, la cui caratteristica principale è quella di riuscire a ricostruire il segnale in ingresso se questo ha subito una corruzione. In generale, un Autoencoder è una rete neurale comunemente utilizzata nell'ambito della selezione ed estrazione delle features di un insieme di dati. Il problema principale dell'Autoencoder è che non può essere utilizzato con un numero di strati nascosti troppo elevato, in quanto rischia di imparare esclusivamente la funzione identità , ottenendo in output l'esatta copia dell'input. Il denoising Autoencoder cerca di evitare questo problema aggiungendo, casualmente, del rumore ai dati di input; il rumore può essere di tipo Gaussiano, oppure si possono effettuare delle operazioni di dropout, che implicano mettere a zero alcuni input.
L'architettura utilizzata (descritta in Figura 11) si riferisce al particolare modello in cui il rumore viene immesso mediante operazioni di dropout e quindi tramite la perdita di alcuni input; i dati che invece riescono ad avanzare verso il centro della rete, vengono processati da vari strati totalmente connessi, con l'obiettivo di estrarre le features dominanti. Infine, l'output degli strati totalmente connessi vengono inoltrati ad uno strato convoluzionale con attivazione lineare, che fornisce il segnale ricostruito.
Anche il denoising Autoencoder è stato realizzato utilizzando la libreria Keras.
Come nel caso della LSTM, l'addestramento è stato eseguito utilizzando circa 3 anni di dati appartenenti alla casa 1 di UKDALE, mentre la casa 2 è stata utilizzata per valutare le prestazioni del modello. Anche l'elettrodomestico utilizzato è il medesimo; in questo modo si è replicato l'ambiente per ottenere un confronto chiaro tra i due modelli.
Analizzando i risultati ottenuti dall'addestramento del denoising autoencoder, possiamo affermare che questo modello fornisce delle prestazioni migliori in termini di errore (MAE); infatti, l'errore ottenuto sul frigorifero è di circa 18, mentre nel caso della LSTM abbiamo ottenuto un MAE pari a 28. Possiamo osservare questo forte miglioramento, anche graficamente in Figura 12. Possiamo infatti notare come il denoising autoencoder riesca a fornire una stima molto più accurata rispetto alla rete LSTM, riuscendo a riprodurre in uscita un segnale che somiglia molto all'originale anche per quanto riguarda i fattori di scala e non solo la forma d'onda.

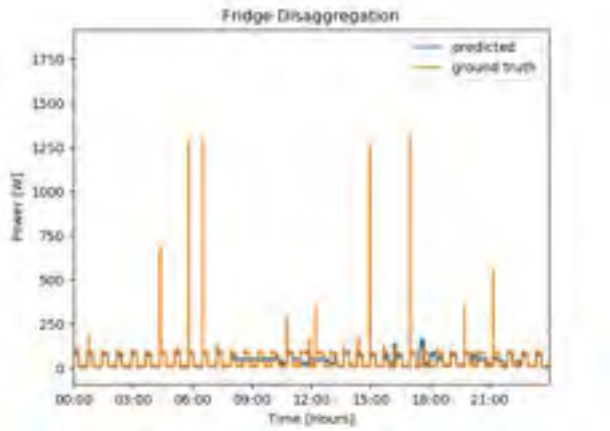


Figura 27-predizione ottenuta sul test set con la rete

3.2.3 Risultati sulle case ENEA

Notiamo che i risultati ottenuti con questa rete sono migliori di quelli presentati nell'articolo di riferimento [5]. Una volta validata la bontà del modello scelto si è passato a considerare i dati delle case ENEA 7 e ENEA 8, in quanto erano le uniche case ad avere una mole di dati consistenti e coerenti.

In prima battuta si è tentato di replicare l'addestramento con le reti LSTM e denoising Autoencoder descritte in precedenza ottenendo però dei risultati molto scarsi in quanto i dati del dataset UKDALE coprivano un arco temporale di 3 anni, mentre per le due case ENEA 7 e ENEA 8 si hanno solo circa 8 mesi di dati completi, insufficienti ad addestrare delle reti così complesse.

Tuttavia, il modello del denoising autoencoder addestrato sul dataset UKDALE si è rivelato in grado di predire la disaggregazione dei consumi elettrici delle case ENEA 7 ed ENEA 8.

Come esempio, riportiamo in figura la predizione ottenuta su frigorifero e lavatrice di ENEA 7 e ENEA 8 utilizzando il modello addestrato sulla casa 1 del dataset.

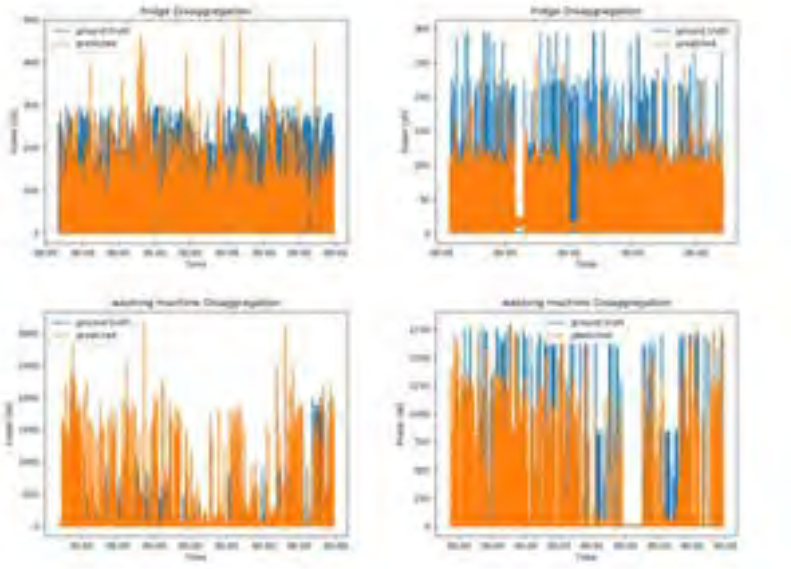


Figura 28-Predizione di frigorifero e lavatrice su ENEA 7 (sinistra) e ENEA 8 (destra)

Tabella 1: MAE ottenuto sugli otto mesi di test delle case ENEA 7 e ENEA 8

	ENEA 7	ENEA 8
FRIGO	52,467	39,0329
LAVATRICE	24,804	14,9134

Cosa ancora più interessante è il risultato sul dato aggregato sulla singola giornata. Infatti, l'obiettivo del lavoro è quello di valutare la percentuale di consumo del singolo elettrodomestico per dare consigli al consumatore, e non si ha quindi interesse al dettaglio al secondo della previsione.
Riportiamo in Figura 8 l'andamento su tutto l'arco temporale a disposizione (231 giorni per ENEA 7 e 251 giorni per ENEA 8) la percentuale reale e quella prevista dal nostro modello sulle due case e sui due elettrodomestici.



Figura 29-percentuali giornalieri previste e reali per frigo e lavatrice su ENEA 7 e ENEA 8

Come si vede l'andamento del predetto è piuttosto fedele all'originario, specialmente sul frigo in entrambe le case.

3.2.4 Conclusioni

I risultati ottenuti dimostrano come il modello realizzato sia in grado di predire in maniera accurata la disaggregazione energetica di frigorifero e lavatrice su entrambe le case prese in considerazione. Il modello potrebbe essere più accurato se si raccogliessero maggiori dati, in modo da poter addestrare il modello sui dati delle case stesse. Inoltre si potrebbe provare diversi modelli addestrati sulle diverse case presenti nel dataset UKDALE e con tecniche di clustering decidere quale modello utilizzare sulle nuove case prese in considerazione in modo da scegliere correttamente il modello relativo all'abitazione con il comportamento energetico più simile.

4 Disaggregazione consumi Idrici

4.1 Premessa

I dati acquisiti sui consumi idrici del laboratorio SSPT USER R4R (oggi R4W) situato presso il CRE Brasimone, presentati nel report del PAR 2016, sono stati elaborati al fine di mettere a punto una metodologia generale che permetta di realizzare un classificatore di consumi idrici nel residenziale. Il caso di studio preso in esame non è direttamente riconducibile ad un appartamento residenziale, perchè non dotato di cucina e l'utilizzo di alcuni degli apparati presenti producono consumi idrici impensabili in un appartamento, quale il lavandino della hall tecnologica. Inoltre, la sproporzione evidente tra contatori installati e numero di persone presenti nel laboratorio ha prodotto l'effetto che solo alcuni degli apparati idrici venisse usato quotidianamente, motivo per il quale solo alcuni contatori hanno prodotto valori significativi e sono stati utilizzati nella realizzazione del modello. E' altresì evidente, che le istruzioni impartite al personale hanno consentito che l'utilizzo quotidiano degli apparati da parte degli utenti si avvicinasse il più possibile a quello quotidiano di un appartamento residenziale, permettendone la generalizzazione.
La metodologia messa a punto ha quindi utilizzato il laboratorio come modello di riferimento, verificando da subito che le ipotesi assunte possano essere estese al residenziale, per stimare in tempo reale i consumi disaggregati dei singoli apparati, utilizzando unicamente i consumi misurati dal contatore generale dell'acqua in ingresso al laboratorio. In realtà, come premesso, data la ridondanza del numero di misure effettuate e la scarsa significatività di alcune misure, ne sono state utilizzate solo quelle (cinque) che in fase di analisi dati si sono dimostrate essere le più rilevanti, quali, oltre il Contatore Generale, i) WC bagno maschi, ii) Lavatrice, iii) Lavandino bagno maschi (acqua calda), iv) Doccia totale bagno maschi, v) Rubinetto hall tecnologica.
Tutta l'analisi numerica dei dati è stata effettuata utilizzando il linguaggio di programmazione Python 3.6, con le librerie Pandas, Numpy e Scipy per il data-processing, mentre per la classificazione è stata usata la libreria Scikit-Learn.

4.1.1 Acquisizione e preparazione dei dati

I dati dei venti contatori montati sugli apparati sono stati memorizzati in due file separati di tipo comma separated values (csv), quindici nel primo file (tabella 1)e i rimanenti cinque nel secondo (tabella 2), con tempo di campionamento pari a 5 minuti.
La politica di memorizzazione su file adottata per il sistema di acquisizione prevede che ogni contatore invii il proprio dato in maniera indipendente dagli altri con un proprio timestamp, producendo l'effetto che ogni riga contenga un unico dato utile, mentre tutti gli altri sono NaN. L'effetto, visibile chiaramente nelle tabelle 1 e 2, è quello di avere matrici sparse sulle quali si è dovuto fare una pre-elaborazione al fine di eliminare tutte i NaN, aggregando solo i dati utili. L'elaborazione ha richiesto di tenere conto anche dei NaN derivanti da trasmissioni fallite da parte dei contatori, per le quali è stato considerato il dato acquisito al campionamento precedente. I dati puliti sono stati ordinati in un Dataframe (struttuta dati di Pandas) e ne è visibile la porzione iniziale in tabella 3

Tabella 1-Dati grezzi acquisiti primo file

Date-time	Contatore Generale. (litri)	Rubinetti hall tecnologica (litri)	Lavandino bagno maschi (acqua fredda). (litri)	Lavandino bagno maschi (acqua calda).	WC bagno maschi. (litri)	Bidet bagno maschi	Bidet bagno maschi (calda).	Doccia bagno maschi (litri)	Lavandino bagno femmine	Lavandino bagno femmine	wc bagno femmine (litri)	bidet bagno femmine	bidet bagno femmine (calda).(litri)	Lavastoviglie (litri)
2017/09/01 01:28:49	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	2170.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Date-time	Contatore Generale. (litri)	Rubinetti hall tecnologica (litri)	Lavandino bagno maschi (acqua fredda). (litri)	Lavandino bagno maschi (acqua calda).	WC bagno maschi. (litri)	Bidet bagno maschi	Bidet bagno maschi (calda).	Doccia bagno maschi (litri)	Lavandino bagno femmine	Lavandino bagno femmine	wc bagno femmine (litri)	bidet bagno femmine	bidet bagno femmine (calda).(litri)	Lavastoviglie (litri)
2017/09/01 01:30:08	NaN	NaN	0.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:30:58	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:32:43	NaN	NaN	NaN	1229.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:33:13	NaN	8457.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:33:50	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	141.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:35:10	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	423.0	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:35:57	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	149.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:37:42	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	43.0	NaN	NaN
2017/09/01 01:38:12	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	113.0	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:38:51	21802.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Date-time	Contatore Generale. (litri)	Rubinetti hall tecnologica (litri)	Lavandino bagno maschi (acqua fredda). (litri)	Lavandino bagno maschi (acqua calda).	WC bagno maschi. (litri)	Bidet bagno maschi	Bidet bagno maschi (calda).	Doccia bagno maschi (litri)	Lavandino bagno femmine	Lavandino bagno femmine	wc bagno femmine (litri)	bidet bagno femmine	bidet bagno femmine (calda).(litri)	Lavastoviglie (litri)
01:40:09														
2017/09/01 01:40:57	NaN	NaN	NaN	NaN	2388.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:42:42	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	2170.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:43:12	NaN	NaN	0.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
…….	……	……	……	……	….	….	….	….	….	….	….	….	….	….

Tabella 2-Dati grezzi acquisiti secondo file

Date-time	Lavatrice(litri)	Lavandino lavanderia (freddo). (litri)	Lavandino lavanderia (freddo) (litri)	Generale (caldo) (litri)	Doccia totale bagno femmine. (litri)
2017/09/01 01:28:49	NaN	NaN	NaN	NaN	10.0
2017/09/01 01:30:08	NaN	NaN	NaN	4038.0	NaN
2017/09/01 01:30:58	NaN	NaN	48.0	NaN	NaN
2017/09/01 01:32:43	4590.0	NaN	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:33:13	NaN	66.0	NaN	NaN	NaN
2017/09/01 01:33:50	NaN	NaN	NaN	NaN	10.0
2017/09/01 01:35:10	NaN	NaN	NaN	4038.0	NaN
---------	…….	……	……	……..	……..

Tabella 3- Dati puliti ed ordinati

DateTime	Contatore Generale.	Hall tecnologica.	Lavandino bagno	WC bagno	Bidet bagno maschi	Bidet bagno maschi	Doccia totale bagno	Lavandino bagno	wc bagno femmine.	bidet bagno femmine	Lavastoviglie	Lavatrice (litri)	Lavandino lavanderia	Lavandino lavanderia	Generale (caldo).	Doccia totale bagno
2017-09-01 04:20:22	21802	8457	1229	2388	149	141	2170	113	423	43	220	4590	66	48	4038	10
2017-09-01 04:25:23	21802	8457	1229	2388	149	141	2170	113	423	43	220	4590	66	48	4038	10
2017-09-01 04:30:22	21802	8457	1229	2388	149	141	2170	113	423	43	220	4590	66	48	4038	10
2017-09-01 04:35:22	21802	8457	1229	2388	149	141	2170	113	423	43	220	4590	66	48	4038	10
2017-09-01 04:40:22	21802	8457	1229	2388	149	141	2170	113	423	43	220	4590	66	48	4038	10
……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……

I volumi sono stati poi normalizzati rispetto ai valori iniziali per trattare i volumi realmente acquisiti durante la sperimentazione, come visualizzato in figura 30a (consumi grezzi totali misurati dal contatore generale), figura 30b (consumi del contatore generale normalizzati rispetto al valore iniziale), figura 30c (consumi istantanei del contatore generale).

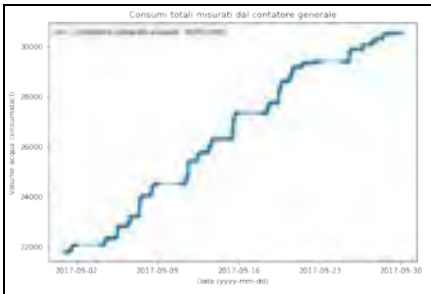


Figura 30 a- Consumi generale grezzi

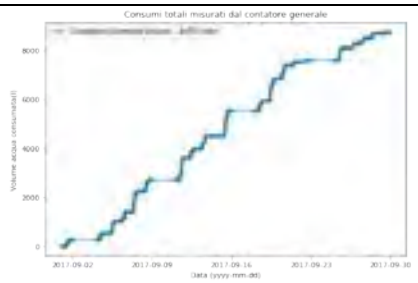


Figura 30b- Consumi generale normalizzati

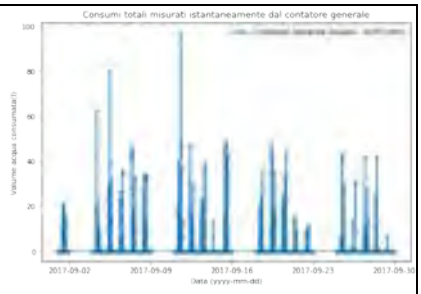


Figura 30c- Consumi generale istantanei

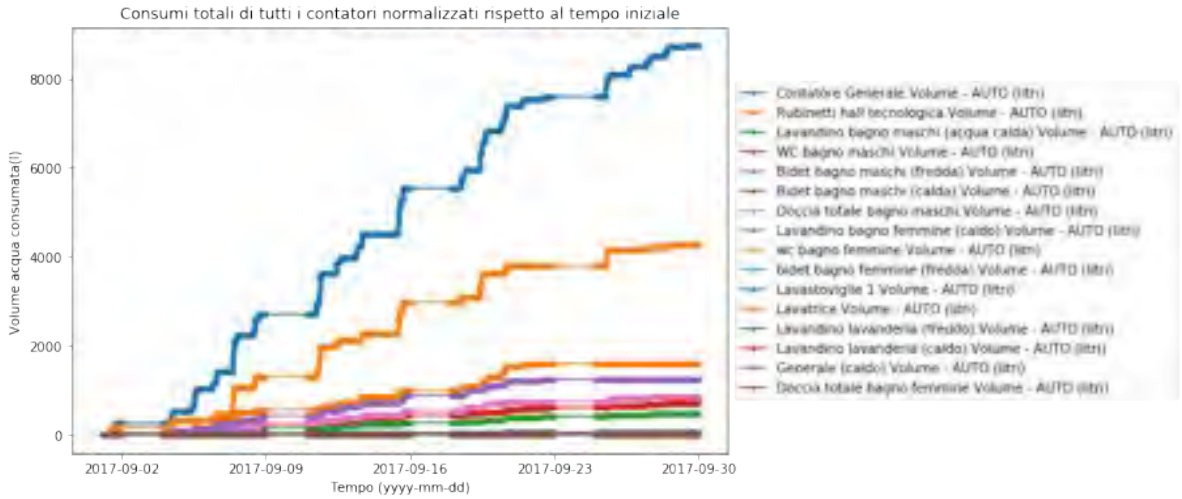


Figura 31-Andamento dei consumi totali di tutti i contatori per tutta la durata della sperimentazione

Inoltre sono state eliminate quattro colonne relative quegli apparati che non hanno prodotto dati, quali, per esempio, 'Lavastoviglie 2' e 'Lavandino bagno femmine (calda)'. In figura 31 sono rappresentati gli andamenti dei consumi totali per la durata di tutta la sperimentazione di tutti gli apparati.

La misura più significativa è nascosta rispetto i dati presentati e riguarda i consumi istantanei degli apparati misurati dai contatori. Più precisamente parliamo del numero degli scatti compiuti dai contatori allo scorrere dell'acqua, corrispondenti ai litri consumati e sarà questa la misura utilizzata per addestrare il classificatore. Per estrarla sono stati utilizzati i dati normalizzati rispetto al valore iniziale di figura 31 e ad ogni valore di ogni contatore preso all'istante t è stato sottratto il corrispondente valore preso all'istante t-1. Gli andamenti risultanti sono raffigurati in figura 32.

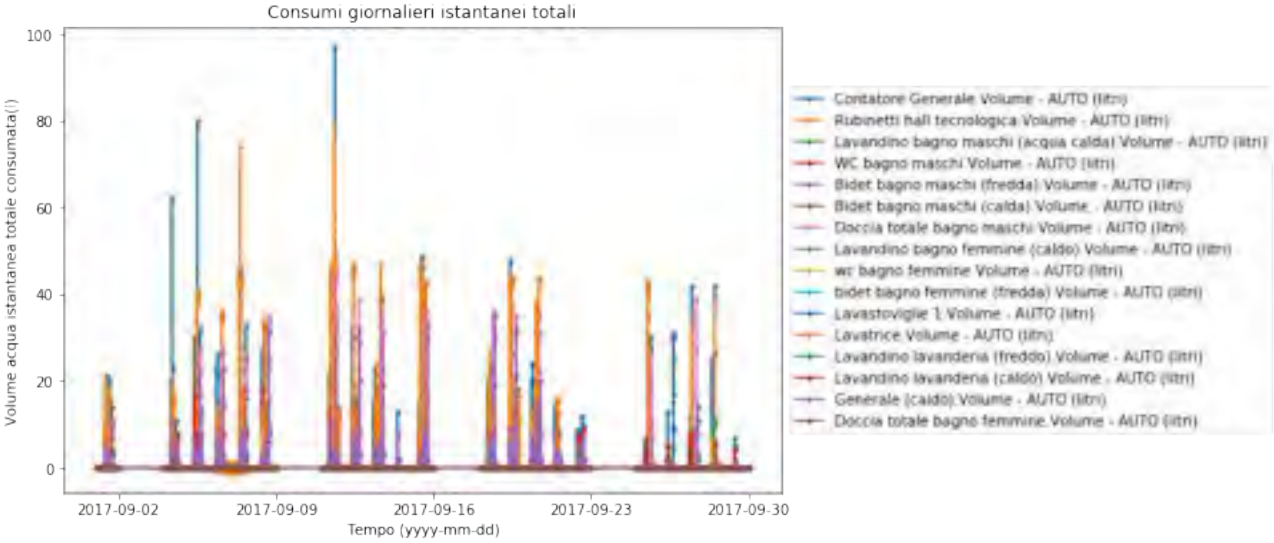


Figura 32-Consumi istantanei totali di tutti i contatori

Dai grafici di figura 31 e, soprattutto, di figura 32, risulta evidente che il caso di studio è stato implementato in un ambiente lavorativo, per cui i dati significativi acquisiti riguardano solo orari compresi tra le 8 e le 18 e giorni che vanno dal lunedì al venerdì.

L'analisi sulla significatività dei dati rispetto la possibilità di addestramento di un classificatore, in parte presentati nel report 2016, ha evidenziato che solo alcuni degli apparati inseriti nel sistema di acquisizione possono essere utilizzati in maniera appropriata. Questo comporterà che solo gli apparati più impattanti dal punto di vista dei consumi idrici potranno essere "riconosciuti", mentre gli altri potranno essere individuati solamente come gruppo aggregato. Questa assunzione è ragionevole anche in previsione di una estensione del modello verso i consumi idrici nelle abitazioni residenziali. In particolare, per questo caso di studio sono stati individuati come classificabili i seguenti apparati, oltre il contatore generale:

a) Rubinetto hall tecnologica.

b) Lavandino bagno maschi (acqua calda).
c) WC bagno maschi.
d) Doccia totale bagno maschi.
e) Lavatrice.

Rispetto ai consumi di un appartamento comune mancano i consumi della lavastoviglie, mentre c'è sicuramente in più un 'rubinetto hall tecnologica', che sicuramente non sarà presente nell'appartamento.
In figura 33 sono mostrati gli andamenti dei consumi totali degli apparati individuati. In figura 34 invece sono rappresentati i consumi istantanei totali per gli stessi contatori

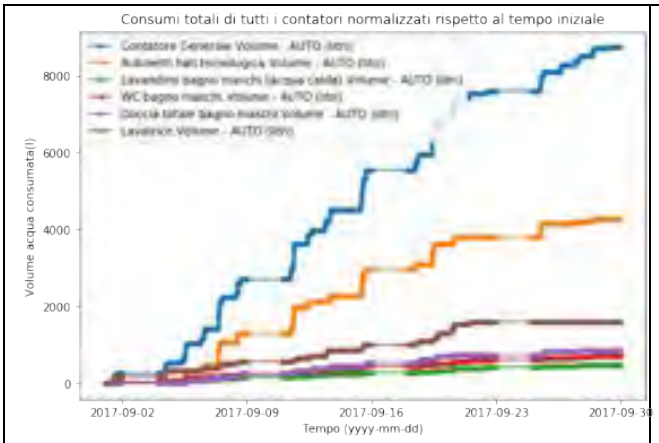


Figura 33-Consumi totali dei contatori individuati per la classificazione

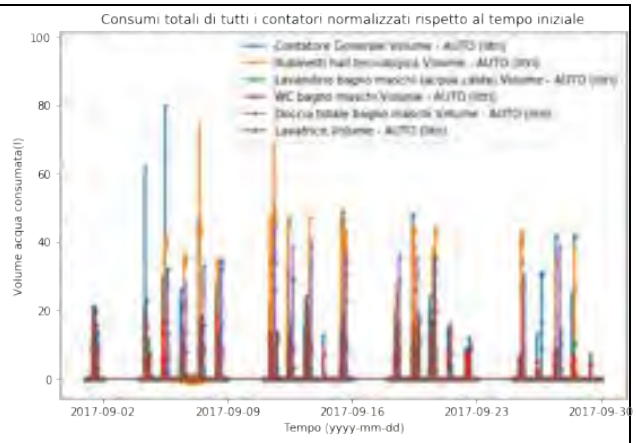


Figura 34-Consumi istantanei totali dei contatori individuati per la classificazione

4.1.2 Machine learning per la classificazione dei consumi idrici

Il processo di classificazione ha l'obiettivo di identificare, dato un consumo istantaneo del contatore generale, a quale classe di contatore particolare appartiene. Le componenti del sistema di classificazione sono: a) l'input (consumi istantanei del contatore generale) identificato con una serie di features (associazione a consumi istantanei dei singoli contatori) e b) l'output (il contatore responsabile del consumo) detto classe. Compito dell'algoritmo di apprendimento è imparare a riconoscere la relazione fra input ed output, grazie ad una serie di esempi. In genere le features di un testo rappresentano i consumi istantanei associabili ad un singolo contatore. Nel seguito saranno indicate con la variabile X le features e con la variabile y le classi.

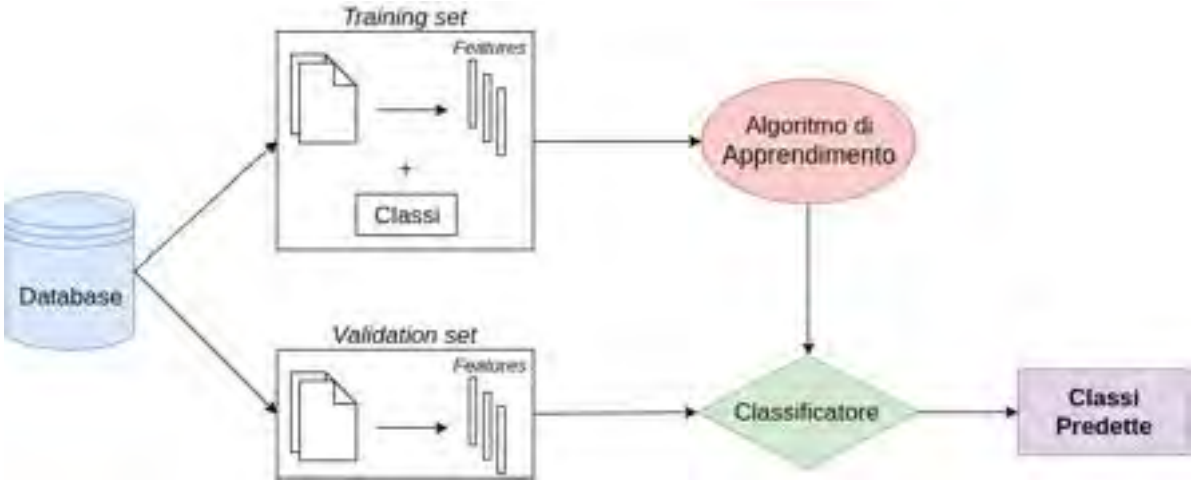


Figura 35- Mappa concettuale del processo di addestramento e validazione di un classificatore.

In figura 35 è rappresentato il processo di addestramento e validazione di un sistema di classificazione. I dati a disposizione sono stati suddivisi in maniera casuale in tre parti, a formare un training set, composto da una

serie di esempi input-output, e un validation set e un test set. Utilizzando l'apprendimento supervisionato (supervised training), l'algoritmo di classificazione apprende il meccanismo per potere assegnare nuovi input non catalogati alle classi corrette.

Nelle figure 36-a-b-c-d-e-f sono mostrati gli andamenti dei consumi istantanei dei contatori, scelti per la classificazione, lungo l'arco di alcune giornate. Le misure sono significative, in quanto sono tra loro distinguibili, condizione necessaria affinché il processo di classificazione abbia concrete probabilità di ottenere buoni risultati.

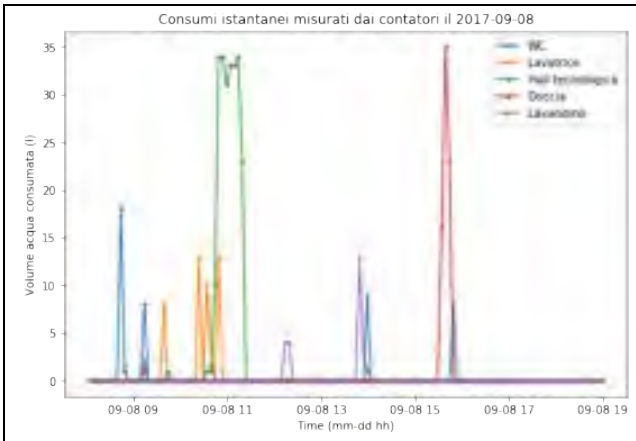


Figura 36a-Andamento giornaliero dei contatori usati per la classificazione (08/09/2017)

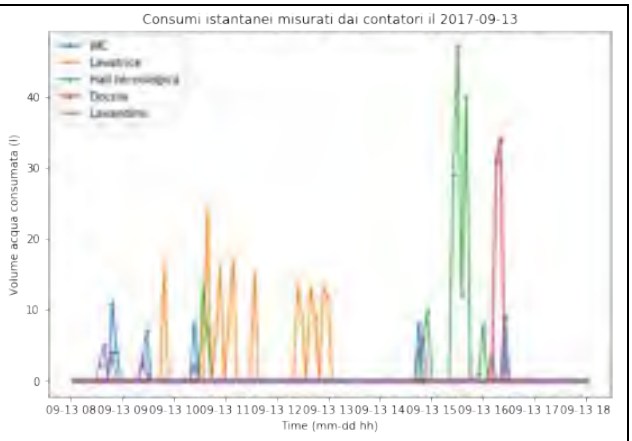


Figura 36b. Andamento giornaliero dei contatori usati per la classificazione (13/09/2017)

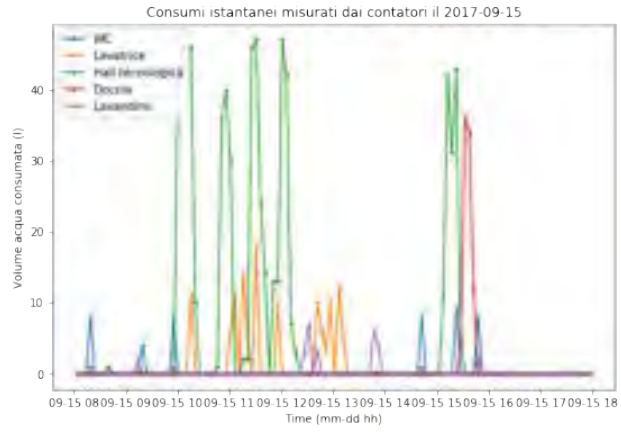


Figura 36c. Andamento giornaliero dei contatori usati per la classificazione (15/09/2017)

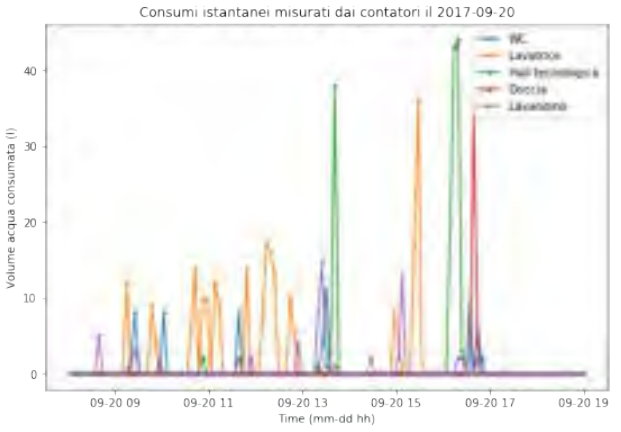


Figura 36d. Andamento giornaliero dei contatori usati per la classificazione (20/09/2017)

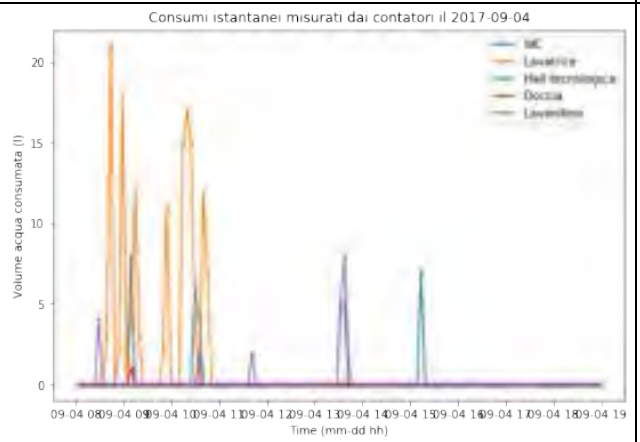


Figura 36e. Andamento giornaliero dei contatori usati per la classificazione (13/09/2017)

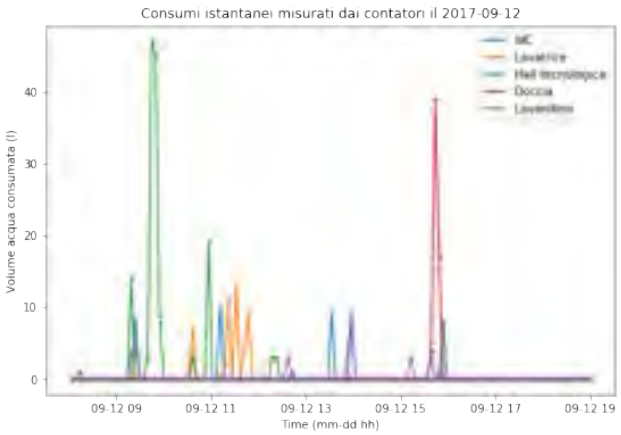


Figura 36f. Andamento giornaliero dei contatori usati per la classificazione (12/09/2017)

Nelle figure 37 a-b-c-d-e sono mostrate le relazioni dirette tra tutti i consumi misurati dal contatore generale e i rispettivi consumi di ognuno dei contatori scelti per la classificazione. I grafici risultano abbastanza sparsi, migliorati di molto con un processo di supervisione che ha permesso di individuare solo i consumi del contatore generale dovuto singolarmente ad ognuno dei singoli contatori.

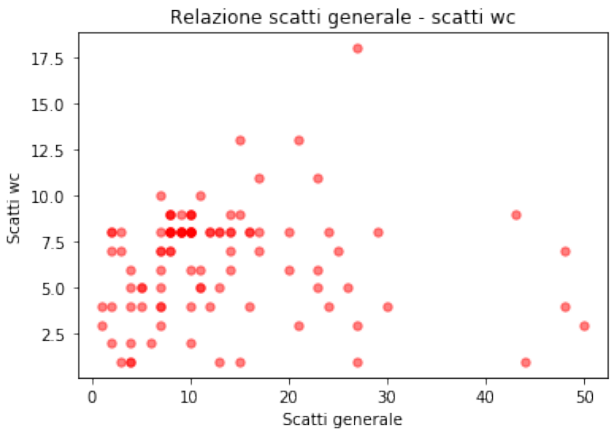


Figura 37a-Contatore generale – contatore WC

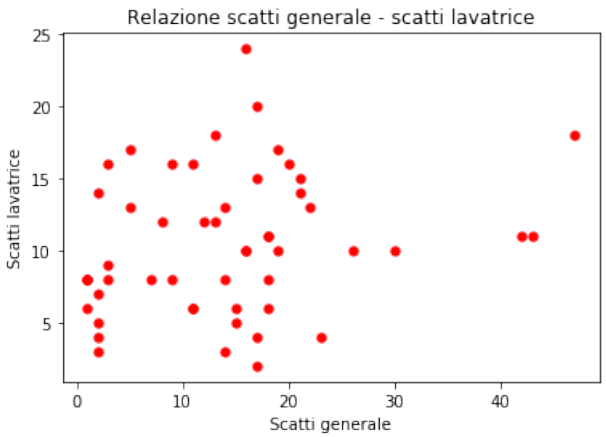


Figura 37b. Contatore generale – contatore Lavatrice

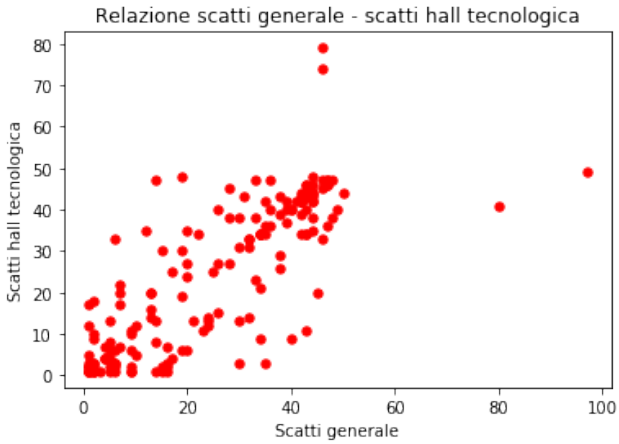


Figura 37c. Contatore generale – contatore hall tecnologica

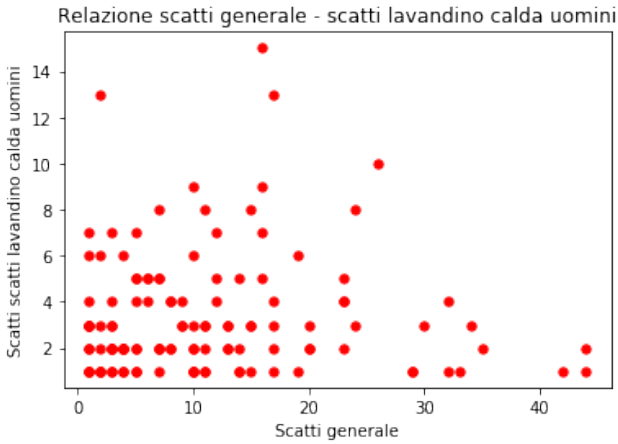


Figura 37d. Contatore generale – contatore lavandino uomini

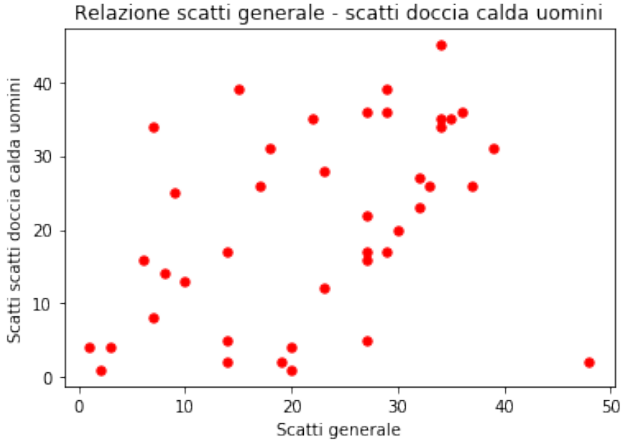


Figura 37e. Contatore generale – contatore doccia uomini

Figura 37. Relazione tra gli scatti del contatore generale e gli altri contatori

Gli effetti di questa operazione sono chiaramente visibili nelle figure 38 e 39. In figura 38 sono visibili le cinque classi aggregate utilizzando tutti i dati a disposizione, mentre in figura 39 sono visibili le classi aggregate assegnando ad ognuna un dominio specifico, verificato in maniera supervisionata.

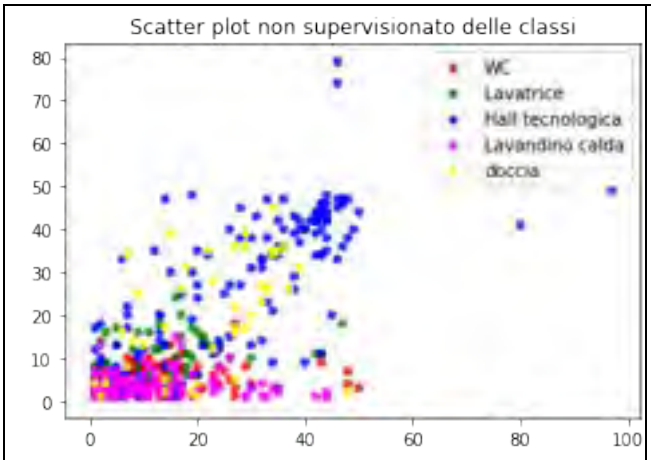


Figura 38-Aggregazione non supervisionata delle classi

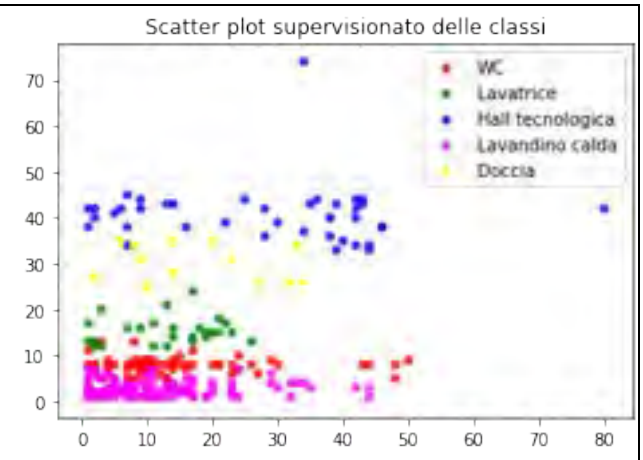


Figura 39-Aggregazione supervisionata delle classi

Si è proceduto all'organizzazione dei dati individuando il training dataset (valore degli scatti) e il rispettivo target dataset (classe di appartenza), secondo la disposizione dei punti della figura39. Per esempio, per citare le due classi con meno incertezza, tutti i valori di scatti compresi tra 1l e 7l (training dataset) appartengono alla classe "Lavandino bagno maschi acqua calda" (target dataset), mentre quelli con valori superiori a 40l (training dataset) sono stati assegnati alla classe " Rubinetto hall tecnologica" (target dataset).
Sono stati provati due diversi classificatori multiclasse, entrambi rispondenti in maniera adeguata:

1. K-Nearest Neighbors (K-NN)
2. Support Vector Classifier (SVC)

Per entrambi i metodi sono state valutate le seguenti prestazioni.

4.2 *Valutazione delle prestazioni*

4.2.1 Matrice di Confusione

La matrice di confusione (confusion matrix) è molto utile nei problemi di classificazione (multiclasse) per capire come sono distribuiti gli errori. Sulle righe le classi *true* sulla colonne le classi *predicted*. Una cella (r,c) riporta la percentuale di casi in cui il sistema ha predetto di classe c un pattern di classe vera r. Idealmente la matrice dovrebbe essere diagonale. Valori elevati (fuori diagonale) indicano concentrazioni di errori.

4.2.2 Sistemi con soglia e curva ROC (Receiver Operating Characteristic)

Dato un classificatore binario e **T = P + N** pattern da classificare (P positivi e N negativi), il risultato di ciascuno dei tentativi di classificazione può essere:
True Positive (TP): un pattern positivo è stato correttamente assegnato ai positivi.
True Negative (TN): un pattern negativo è stato correttamente assegnato ai negativi.
False Positive (FP): un pattern negativo è stato erroneamente assegnato ai positivi. Detto anche errore di Tipo I o False.
False Negative (FN): un pattern positivo è stato erroneamente assegnato ai negativi. Detto anche errore di Tipo II o Miss.
Passando da errori a frequenze/probabilità:

$$TPR(True\ Positive\ Rate) = \frac{TP}{P}$$

$$TNR(True\ Negative\ Rate) = \frac{TN}{N}$$

$$FPR(False\ Positive\ Rate) = \frac{FP}{N}$$

$$FNR(False\ Negative\ Rate) = \frac{FN}{P}$$

Con questa notazione l'accuratezza di classificazione può essere scritta come:

$$Accuratezza = \frac{TP + TN}{T = P + N}$$

Una curva ROC è il grafico dell'insieme delle coppie (FP, TP) al variare di un parametro del classificatore. Per esempio, in un classificatore a soglia, si calcola la frazione di veri positivi e quella di falsi positivi per ogni possibile valore della soglia; tutti i punti così ottenuti nello spazio FP-TP descrivono la curva ROC. L'area sotto la curva ROC è uno scalare in [0,1] che caratterizza la prestazione media (maggiore è, meglio è). Può essere calcolata come integrale numerico.

4.3 Classificatore Nearest Neighbor (NN)

Data una metrica *dist(·)* nello spazio multidimensionale (es. distanza euclidea) il classificarore Nearest Neighbor (letteralmente "il più vicino tra i vicini"), classifica un pattern $\mathbf{x}$ con la stessa classe dell'elemento $\mathbf{x}'$ ad esso più vicino nel training set TS:

$$\boldsymbol{dist}(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = \boldsymbol{min}_{\mathbf{X_i} \in TS}\{\boldsymbol{dist}(\mathbf{x}, \mathbf{x_i})\}$$

Un modo generalmente più robusto, che può essere visto come estensione della regola nearest-neighbor (in questo caso detta 1-nearest neighbor) è il cosiddetto classificatore k-nearest neighbor (k-NN). La regola k-Nearest Neighbor (k-NN) determina i k elementi più vicini al pattern $\mathbf{x}$ da classificare (k è un iperparametro); ogni pattern tra i k vicini vota per la classe cui esso stesso appartiene; il pattern $\mathbf{x}$ viene assegnato alla classe che ha ottenuto il maggior numero di voti.

4.3.1 Parametri per l'addestramento del classificatore tipo K-NN

E' stato adottato un classificatore 3-NN

KNeighborsClassifier(algorithm='auto', leaf_size=30, metric='minkowski',
metric_params=None, n_jobs=None, n_neighbors=3, p=2,
weights='uniform')

4.3.2 Risultati

In tabella 4 sono riportata la Confusion matrix e l'accuratezza, entrambi indicanti che il processo di classificazione ha ottenuto risultati soddisfacenti. Anche la curva ROC relativa la classificazione, mostrato in figura 11, conferma lo stesso risultato. In tabella 5 la sintesi dei dati relativi la classificazione.

Tabella 4

Confusion matrix

[[11 1 4 0 0]
[2 15 0 0 0]
[3 0 17 0 0]
[0 0 0 5 0]
[0 0 0 2 25]]

Accuracy score: 0.845

Tabella 5- Classification report

classi	precision	recall	f1-score	support
0	0.69	0.69	0.69	16
1	0.94	0.88	0.91	17
2	0.81	0.85	0.83	20
3	0.71	1.00	0.83	5
4	1.00	0.93	0.96	27

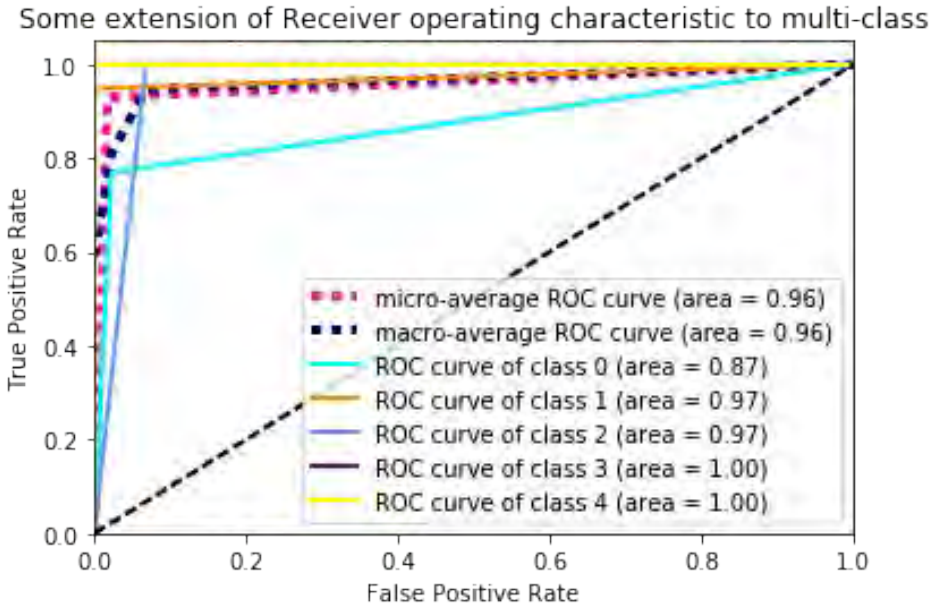


Figura 40- Curva ROC per la classificazione K-NN

4.3.3 Fase di test

Per la fase di test è stato dato in ingresso al classificatore il seguente Test dataset, comprendente diversi valori di scatti del contatore generale dato in sequenza casuale:

[[4. 42. 3. 42. 17. 15. 1. 16. 9. 48. 17. 22. 18. 10.
27. 43. 10. 7. 19. 38. 9. 47. 39. 16. 5. 17. 14. 7.
17. 27. 2. 17. 3. 43. 14. 36. 13. 44. 2. 14. 20. 10.
14. 9. 1. 8. 11. 7. 3. 14. 7. 1. 8. 22. 18. 7.
5.]]

Si sono avute le seguenti risposte:

['lav_maschi_calda', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'hall_tecn', 'Lavatrice', 'WC', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'WC', 'hall_tecn', 'Lavatrice', 'Lavatrice', 'Lavatrice', 'WC', 'doccia', 'hall_tecn', 'WC', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'hall_tecn', 'WC', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'Lavatrice', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'Lavatrice', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'doccia', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'lav_maschi_calda', 'hall_tecn', 'Lavatrice', 'hall_tecn', 'WC', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'Lavatrice', 'WC', 'Lavatrice', 'WC', 'lav_maschi_calda', 'WC', 'WC', 'lav_maschi_calda', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'lav_maschi_calda', 'lav_maschi_calda', 'WC', 'Lavatrice', 'Lavatrice', 'lav_maschi_calda', 'lav_maschi_calda']

4.4 Classificatore Support Vector Machine (SVM)

SVM nasce come classificatore binario (2 classi), estendibile a più classi e può avere le seguenti caratteristiche:

1. SVM lineare (i.e., la superficie di separazione è un iperpiano) e pattern del training set linearmente separabili (i.e., esiste per ipotesi almeno un iperpiano in grado di separarli).
2. SVM lineare e pattern non linearmente separabili. Ci saranno inevitabilmente errori di classificazione nel training set non esistendo alcun iperpiano in grado di separare i pattern.
3. SVM non lineare (i.e., superficie di separazione complessa) senza ipotesi sulla separabilità dei pattern.
4. Estensione multiclasse.

Date due classi di pattern multidimensionali linearmente separabili, tra tutti i possibili iperpiani di separazione, SVM determina quello in grado di separare le classi con il maggior margine possibile. Il margine è la distanza minima di punti delle due classi nel training set dall'iperpiano individuato. La massimizzazione del margine è legata alla generalizzazione. Se i pattern del training set sono classificati con ampio margine si può «sperare» che anche pattern del test set vicini al confine tra le classi siano gestiti correttamente.

Se la dimensionalità d dello spazio è molto elevata (es. 5000 feature) si utilizza generalmente SVM lineare. Infatti in uno spazio così grande i pattern sono tipicamente molto sparsi e anche «semplici» iperpiani sono in grado di separare le classi efficacemente. Se la dimensionalità è bassa (es. 20 feature) la scelta primaria è SVM non lineare con kernel RBF. Per media dimensionalità (es. 200 features) in genere si provano entrambe le tipologie (i.e., anche questa scelta diventa un iperparametro). Come sempre gli iperparametri si tarano su un validation set separato, oppure attraverso cross-validation sul training set.
Per il caso multi-classe, tipicamente ci si affida alla soluzione One-Agaist-One. Se però il numero di classi è elevato, il costo può diventare inaccettabile per certe applicazioni. In questo caso One-Against-All diventa la scelta obbligata. Un multi-classificatore è un approccio dove diversi classificatori sono utilizzati (normalmente in parallelo, ma talvolta anche in cascata o in modo gerarchico) per eseguire la classificazione dei pattern; le decisioni dei singoli classificatori sono fuse ad un certo livello del processo di classificazione. È stato dimostrato (teoricamente ma soprattutto nella pratica) che l'utilizzo di combinazioni di classificatori (in inglese multi-classifier, combination of classifiers, classifier fusion, ensemble learning) può migliorare, anche molto, le prestazioni.

4.4.1 Parametri per l'addestramento del classificatore tipo SVM

E' stato scelto un classificatore multiclasse (5 classi), con soluzione One-Against-All.

OneVsRestClassifier
(estimator=SVC(C=1.0,cache_size=200,class_weight=None, coef0=0.0,
decision_function_shape='ovr', degree=3, gamma='scale', kernel='rbf',
max_iter=-1, probability=True,
random_state=<mtrand.RandomState object at 0x0000023FAB0C0F78>,
shrinking=True, tol=0.001, verbose=False),
n_jobs=None)

4.4.2 Risultati

Tabella 6

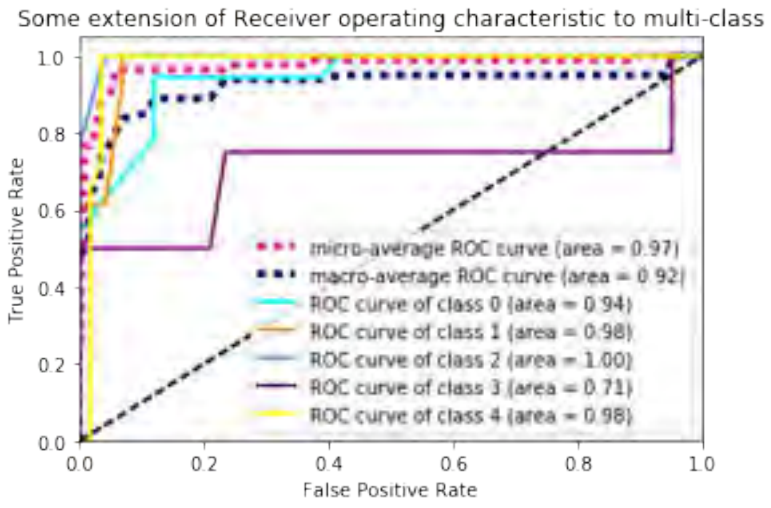
Accuracy classifier: 0.894117647059 **Confusion matrix:** [[18 1 1 0 0] [3 18 0 0 0] [4 0 18 0 0] [0 0 0 2 0] [0 0 0 0 20]]	

Figura 41-Curva ROC per la classificazione SVM

In tabella 6 sono riportata la Confusion matrix e l'accuratezza del classifcatore SVM, entrambi indicanti che il processo di classificazione ha ottenuto risultati soddisfacenti. Anche la curva ROC relativa la classificazione, mostrato in figura 41, conferma lo stesso risultato.

4.4.3 Fase di test

Per la fase di test è stato dato in ingresso al classificatore il seguente Test dataset, comprendente diversi valori di scatti del contatore generale dato in sequenza casuale.

```
[[ 3. 15. 23. 35. 41. 36. 43. 44. 10. 10. 14. 43.  5. 42.
   8.  1. 38.  5.  6.  3.  2. 33. 34. 44.  3.  2. 23.  4.
  42. 42.  1. 15. 11. 20. 97.  7. 18. 15.  1. 14. 10. 34.
  38. 39.  7. 42. 18.  4. 43. 44. 13. 21. 46. 14. 14. 43.
  38.  4. 27.  1. 12.  6.  5. 29. 50.  9.  4. 48. 40.  2.
  47.  3. 22. 42.  6. 14. 43.  8. 42.  2. 14. 16. 10. 34.
   9.]]
```

Si sono avute le seguenti risposte:

['lav_maschi_calda', 'WC', 'Lavatrice', 'doccia', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'WC', 'WC', 'Lavatrice', 'hall_tecn', 'WC', 'hall_tecn', 'WC', 'lav_maschi_calda', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'WC', 'lav_maschi_calda', 'lav_maschi_calda', 'hall_tecn', 'doccia', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'lav_maschi_calda', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'WC', 'WC', 'Lavatrice', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'WC', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'WC', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'WC', 'hall_tecn', 'Lavatrice', 'lav_maschi_calda', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'Lavatrice', 'Lavatrice', 'hall_tecn', 'WC', 'WC', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'doccia', 'lav_maschi_calda', 'WC', 'lav_maschi_calda', 'lav_maschi_calda', 'doccia', 'hall_tecn', 'WC', 'lav_maschi_calda', 'hall_tecn', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'hall_tecn', 'WC', 'hall_tecn', 'lav_maschi_calda', 'Lavatrice', 'Lavatrice', 'WC', 'hall_tecn', 'WC']

4.5 Conclusioni

Lo studio presentato ha permesso di mettere a punto un modello utilizzabile nella realizzazione di un classificatore di consumi idrici negli appartamenti sia ad uso residenziale che ad uso lavorativo. La metodologia adottata, infatti, può essere generalizzata ed estesa ad altre applicazioni, considerando le ipotesi adottate e ridefinendo adeguatamente il dominio delle misure dei consumi, adattandolo agli apparati presenti nell'appartamento.

5 Assisted living e sua integrazione

5.1 Introduzione

Le attività condotte dal Laboratorio Intelligenza Distribuita e Robotica per l'Ambiente e la Persona dell'ENEA e dal DII - Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli studi “Tor Vergata” sono state relative all'individuazione di un sistema di interfaccia innovative che agendo sulla usabilità dei sistemi presenti all'interno di una Smart Home faciliti il loro uso anche agli utenti con fragilità. Questo perché le tecnologie che sono presenti all'interno della Smart Home sono realmente efficaci solo se comprese ed accettate dagli utenti finali. Vi è l'esigenza di disporre di tecnologie più facili nell'uso, capaci di rispondere maggiormente alle effettive esigenze e bisogni concreti degli individui; altrimenti c'è il rischio di fornire alla persona soluzioni tecnologiche che non solo non le sono utili, ma che potrebbero rappresentare una complicazione ulteriore. Ciascun utente è portatore di esigenze specifiche, di proprie modalità d'uso e di percezione delle tecnologie. il successo nella diffusione di queste tecnologie è strettamente legato alle caratteristiche dell’interfaccia utente utilizzata, e questo è ancor più vero nel caso di utenti che presentano, per patologia, disabilità o solamente per la naturale diminuzione delle proprie capacità dovute all’aumentare dell’età, ridotte capacità di interazione con l’ambiente che li circonda. La scelta dell'interfaccia utente risulta, allora, assolutamente determinante a garantire lo sviluppo di sistemi tecnologici che si adattino alle esigenze, alle aspettative e agli obiettivi degli utenti, indipendentemente dal loro stato di salute.

5.2 Attività condotte dal dipartimento di ingegneria industriale dell'Università degli Studi “Tor Vergata”

Nell'ambito delle attività del PAR 2017 l'ENEA ha affidato al Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli studi “Tor Vergata” una attività per la realizzazione di una ricerca sulle interfacce innovative in grado di agire sulla usabilità dei sistemi presenti in una smart home agevolandone l'uso anche agli utenti con fragilità (per maggiori dettagli si veda il Report RdS/PAR2017/046).

La ricerca si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Analisi sullo stato dell’arte delle diverse tipologie di interfaccia utente presenti nelle tecnologie della *smart home*;
2. Studio degli aspetti che riguardano l'usabilità posta in relazione alle diverse abilità della persona.
3. Approfondimento delle interfacce di tipo tattile

In una prima fase, è stata svolta una approfondita indagine sulle diverse caratteristiche sia hardware che software di tali sistemi per i dispositivi che sono soliti essere utilizzati all'interno di una *smart home,* lo stato dell’arte sulle varie su sistemi di interfaccia già presenti sul mercato che per quelli in fase di studio nell'ambito della più avanzata ricerca tecnologica.
Sono state descritte le diverse interfacce individuando le caratteristiche che presentano (vantaggi e svantaggi) rispetto alla loro usabilità nei confronti delle diverse disabilità dell’utenza fragile. Per ciascuna delle interfacce sono state poi indicate quelle che sono risultate essere le linee guida per una loro migliore implementazione. Questo aspetto può incidere fortemente su un uso della tecnologia corretto, consapevole ed in condizioni di piena sicurezza per tutti gli utenti, indipendentemente dal loro stato di salute;

In una ultima fase dell'attività è stato fatto un approfondimento sulle interfaccia di tipo tattile, realizzando un prototipo di un sistema di interfaccia multimodale con l’uso di sensori di tipo tattile utili a veicolare in modo efficace l'informazione, anche quella di contesto, raccolta dai dispositivi installati nella casa verso utenti con una qualche disabilità legata alla vista.

A tal scopo, sono stati analizzati e testati in laboratorio alcuni dispositivi vibratili di facile installazione in grado di veicolare in modo efficace una informazione di contesto ad una persona che potrebbe essere impegnata in attività tali da limitarne l'attenzione o, più in generale, la consapevolezza di trovarsi in una situazione che deve essere valutata perché potenzialmente a rischio. Ad esempio, in uno dei sistemi che sono stati oggetto

dei test di laboratorio, è stato possibile applicare una modulazione alla normale vibrazione (che si ha quando è presente una notifica da parte del sistema) in modo da distinguere l'importanza della notifica e poter comunicare eventi importanti quali ad esempio situazione di rischio: vibrazione pulsante a bassa cadenza (rischio potenziale, situazione da esaminare) o ad alta cadenza (rischio concreto, situazione grave).

5.3 Attività condotte dal Laboratorio Intelligenza Distribuita e Robotica per l'Ambiente e la Persona dell'ENEA

Il Laboratorio Intelligenza Distribuita e Robotica per l'Ambiente e la Persona dell'ENEA, in una prima fase della sua attività di ricerca ha realizzato una matrice di fruizione nella quale ad una data tecnologia presente nella smart home è stata associata, in funzione dei diversi profili di esigenze speciali, una specifica interfaccia utente in grado di massimizzarne l'usabilità ed il confort per la persona che la sta utilizzando.

In una seconda fase, in collaborazione con il DII “Tor Vergata”, l'ENEA ha realizzato e sperimentato nei suoi laboratorio del C.R. "Casaccia" un sistema prototipale di interfaccia tattile che, montato su un dispositivo indossabile (braccialetto/cintura) o su una postazione fissa (poltrona/letto) potesse fornire all'utente delle informazioni di contesto rilevate attraverso uno dei dispositivi tecnologici presenti all'interno della smart home.

5.3.1 Le attività nel quadro di quanto svolto nelle precedenti annualità

Le attività di ricerca e sviluppo che l'ENEA ha intrapreso nel corso delle precedenti annualità e che hanno determinato l'uso di uno specifico dispositivo di controllo dei sensori della Smart Home, l'EnergyBox (EB), e delle modalità di funzionamento e dei protocolli di comunicazione ad esso associati, hanno permesso di integrare una piattaforma di monitoraggio dei parametri biometrici (MySignals della Libelium) nella rete di sensori ambientali e di attuatori della Smart Home (per maggiori dettagli si rimanda al Report RdS/PAR2016/003).

Queste attività hanno permesso di creare un nuovo servizio alla persona utile a tutti coloro che presentano la necessità di svolgere frequentemente esami diagnostici per monitorare il proprio stato di salute e comunicarne direttamente al medico curante gli esiti senza la necessità di spostarsi dalla propria abitazione. L'integrazione della piattaforma MySignals ha consentito al sistema della Smart Home di gestire l’hardware per il rilevamento dei dati fisici personali ed i processi relativi alla persona, di controllare il contesto in cui essi operano e di collegarsi alle altre funzioni domotiche del sistema per le altre azioni eventualmente necessarie come, ad esempio, la gestione della comunicazione delle misure biometriche a soggetti terzi, l'attivazione di particolari procedure in caso di emergenza, etc. Attraverso una architettura di tipo Cloud-Cloud, la piattaforma MySignals comunica i dati biometrici rilevati dai sensori direttamente sul Cloud Libelium e autonomamente l’EB, tramite una applicazione in ApioOS, preleva i dati da questo cloud e li rende disponibili tramite una applicazioni all'utente.

Inoltre, è stato sviluppato uno speciale "sottosistema utente" che ha consentito di elaborare e di presentare, utilizzando le normative consolidate a livello internazionale, le informazioni nel formato più adatto alle esigenze dell’utente, in modo da assicurare la più ampia autonomia alle persone con esigenze speciali. Infatti, l’utente può personalizzare l’interfaccia in funzione del livello di comfort desiderato per ciascuno dei parametri sensoriali che intende ottimizzare.

L’attuale implementazione ha previsto 3 livelli di comfort per 4 tipologie sensoriali (anche se il sistema sviluppato prevede che il numero di livelli e le tipologie sensoriali possano essere aumentate in funzione di eventuali future esigenze).

Le tipologie sensoriali attualmente implementate riguardano la vista, l’udito e la cognizione oltre ad una modalità base.

Il sistema che è stato sviluppato prevede che all'informazione che deve essere veicolata all'utente possano essere applicati diversi livelli di semplificazione in base ad un livello di *confort* che la persona può definire in sede di profilazione. I livelli di comfort che sono stati implementati sono tre: normale, elevato, ottimo. Questi

livelli permettono di poter offrire all'utente una informazione con diverse gradazioni di dettaglio e di complessità.

La gestione dell'interfaccia uomo macchina in base al profilo dell'utente è stata implementata per assistere persone ipovedenti, ipoudenti, con difficoltà cognitive o normodotate. Gli output vengono personalizzati automaticamente in relazione al profilo degli utenti e sono conformi alle normative per la accessibilità. In base alla tipologia di utente sarà cambiato anche il filtro applicato alla pagina web per la visualizzazione dei risultati delle misurazioni effettuate. I tipi di interfaccia implementati sono stati quella video e quella audio e su questi canali l'informazione viene presentata con diversi livelli di complessità per essere pienamente fruibile anche alle persone che hanno difficoltà cognitive.

Ad esempio una persona che ha una vista normale, ma un deficit uditivo può accedere al sistema leggendo un testo standard sul display, mentre usufruirà delle segnalazioni acustiche ottimizzate in relazione alle proprie esigenze personali. Alle persone con difficoltà cognitive, l'informazione può essere presentata con diversi livelli di semplificazione in relazione al livello confort inizialmente impostato.

L'attività di ricerca, che comprende anche la realizzazione di un prototipo di interfaccia tattile, permetteranno, rispetto a quanto fatto nelle precedenti annualità, di ampliare le tipologie di interfaccia sulle quali è possibile veicolare l'informazione all'utente, aggiungendo un canale sensoriale di primaria importanza.

5.3.2 Matrice di fruizione delle tecnologie della smart home

La prima fase delle attività del Laboratorio Intelligenza Distribuita e Robotica per l'Ambiente e la Persona dell'ENEA, hanno previsto la realizzazione di una matrice di fruizione nella quale ad una data tecnologia presente nella smart home è stata associata, in funzione dei diversi profili di esigenze speciali, una specifica interfaccia utente in grado di massimizzarne l'usabilità ed il confort per la persona che la sta utilizzando.

Ciascun utente è, infatti, portatore di esigenze specifiche, di proprie modalità d'uso e di percezione delle tecnologie che sono spesso strettamente legate al proprio stato di salute.

Le tecnologie della smart home sono realmente utili solo se efficaci perché di facile uso. Questo può essere ottenuto grazie all'uso di specifiche interfacce utente capaci di rendere queste tecnologie maggiormente rispondenti alle effettive esigenze e ai bisogni concreti degli individui, anche di quelli con una qualche fragilità.

La prima dimensione che è necessario considerare per realizzare questa matrice è quella relativa alle particolari difficoltà che le persone che si definiscono *fragili* possono avere e che sono molto diversificate, in considerazione delle condizioni individuali e degli specifici momenti della vita di ciascuno. Si tratta di aspetti estremamente complessi e con uno spettro molto ampio che non è possibile affrontare in questo progetto nella sua loro interezza.

Per semplificare la trattazione di questi aspetti si è deciso di utilizzare una suddivisione di massima che, tuttavia, fosse in grado di cogliere gli aspetti principali che caratterizzano lo scopo dell'attività di ricerca.

Per questo motivo sono state considerate tre tipi di difficoltà sufficientemente rappresentative dei diversi profili di problematiche che una persona può manifestare nello svolgere attività all'interno della propria abitazione nella vita di tutti i giorni.

Esse sono relative a:

- difficoltà di tipo fisico (difficoltà di tipo motorio, tremore delle mani);
- difficoltà di tipo sensoriale (al canale visivo e al canale uditivo);
- difficoltà di tipo cognitivo (limitandoci a difficoltà di tipo lieve).

La seconda dimensione che è necessario considerare è quella relativa alle tecnologie che è possibile trovare all'interno di una smart home.

Anche in questo caso i dispositivi attualmente in commercio sono moltissimi e si è quindi proceduto ad un accorpamento per caratteristiche omogenee, tenendo conto del tasso di diffusione delle tecnologie.

I dispositivi analizzati sono:

- Sicurezza e controllo chiusura infissi
- Sistema videosorveglianza
- Sistema automatismo tapparelle
- Sensore gas
- Sensore fumo
- Sensore allagamento
- Sensore presenza ambientale
- Sistema di rilevamento parametri clinici
- Sistemi audio/video

All'incrocio di queste due grandezze si trova l'interfaccia utente in grado di massimizzare, per la persona che la deve utilizzare, l'usabilità ed il confort, e quindi l'efficacia, della tecnologia presente nella smart home.

Al fine di poter riempire la matrice sopradescritta è stato necessario riprendere ed approfondire alcune dei risultati trovati nella ricerca fatta dal DII - Tor Vergata che individua le caratteristiche principali che una interfaccia utente deve possedere per poter essere accettata da parte di un'utenza fragile.

In modo particolare sono state approfondite le interfacce di tipo aptico anche in relazione al rinnovato interesse ad usare il senso del tatto come mezzo di comunicazione, aspetto dovuto principalmente al sovraccarico di informazioni sperimentato da molti utenti visto l'elevatissimo numero di interfacce visive e uditive che vengono recentemente utilizzate per interagire con computer e dispositivi mobili.

Nei paragrafi seguenti saranno descritti gli elementi che descrivono questa matrice per poi arrivare alla sua compilazione.

5.3.3 Tipologie di difficoltà

Per meglio comprendere la definizione di persone fragili o di persone con bisogni speciali si deve considerare che le esigenze che si possono presentare sono molto diversificate, in considerazione delle condizioni individuali, dell'età o di specifici momenti della vita di ciascuno. Nell'attività che si è svolta, questi diversi aspetti sono stati trattati utilizzando la suddivisione di massima indicata precedentemente. Questo aspetto va sempre interpretato con attenzione tenendo presente che ogni persona ha aspettative e bisogni specifici e che talvolta quelli legati a diverse tipologie di difficoltà possono anche coesistere.

Più in generale, tra le persone con bisogni speciali vanno considerati anche le persone anziane ed i bambini, che pur non avendo delle disabilità specifiche manifestano, a seconda dell'età e dell'ambiente, difficoltà nella mobilità e nello svolgimento di alcune funzioni.

Come detto precedentemente si è deciso di utilizzare una suddivisione di massima capace, tuttavia, di cogliere gli aspetti principali che identificano lo scopo dell'attività di ricerca perchè rappresentative dei diversi profili di difficoltà che una persona può manifestare nella vita di tutti i giorni all'interno della propria abitazione.

Difficoltà fisiche

Queste comportano un maggior affaticamento e una diminuzione delle capacità di movimento, come camminare o compiere determinate azioni e, comunque, una riduzione dell'autonomia. Nei casi più manifesti, si possono aggiungere difficoltà o impossibilità ad usare gli arti superiori, disturbi legati alla vista, all'udito e alla parola. In altri casi, i problemi non riguardano gli spostamenti, ma determinano incapacità ad agire con autonomia.

Persone con problemi di mobilità

Queste persone hanno difficoltà nel camminare e nel compiere alcuni movimenti. In genere, possono far uso di ausili quali il bastone, le stampelle, per brevi periodi o permanentemente. Alcune persone possono avere una ridotta forza nelle braccia e nelle mani, o una difficoltà nel coordinare i movimenti o una riduzione della sensibilità tattile, o una ridotta autonomia nello stazionare in posizione eretta o nel deambulare.

Alcuni fanno uso della sedia a ruote per una parte della giornata, altri permanentemente.

La progettazione standard di ambienti ed arredi, in molti casi, non tiene realmente conto delle esigenze di agevole circolazione di una sedia a ruote, in condizioni di autonomia e sicurezza. È invece importante essere consapevoli di questo problema, per affrontarlo positivamente e con responsabilità.

Persone con tremore alle mani

Queste persone manifestano un tremore ritmico che si verifica durante i movimenti volontari o quando si cerca di mantenere una posizione contro la forza di gravità. Il tremore alle mani è un sintomo che tende a manifestarsi perlopiù in età avanzata, a partire dalle persone di mezz'età, fino ad arrivare ad individui anziani o molto anziani; nella maggior parte dei casi esso è strettamente connesso a disordini del movimento e malattie neurodegenerative che tendono ad esordire in età senile.

Difficoltà sensoriali

Si caratterizzano in generale per una riduzione delle capacità visive e/o uditive.

Persone non vedenti e ipovedenti

Solo una limitata percentuale delle persone con limitazioni visive è del tutto non vedente. Nei casi di ipovisione (capacità visiva residua ridotta), il modo di percepire lo spazio, seppure limitato, può variare molto da persona a persona. Una capacità visiva residua molto bassa e la cecità possono comportare seri problemi di mobilità e orientamento.

Di conseguenza, per muoversi in ambiti non familiari, le persone con deficit visivo possono far uso di un accompagnatore vedente, altre possono far uso del bastone bianco, altre di un cane guida.

Persone non udenti e ipoudenti

Questa forma di disabilità non è immediatamente riconoscibile, a meno che non sia la persona stessa a manifestarla. I livelli di deficit uditivo possono essere molto diversi. Le persone non udenti, specie quelle che lo sono fin dalla nascita, possono avere difficoltà nel parlare. Molte sono in grado di leggere dalle labbra del proprio interlocutore.

Le persone ipoudenti possono fare uso di apparecchi acustici per sentire meglio e sono comunque in grado di parlare.

Difficoltà cognitive lievi

Le manifestazioni legate a questo tipo di disabilità possono essere molto diverse. Si passa da casi lievi ed impercettibili a situazioni in cui si richiede assistenza alla persona a vari livelli. Nella progettazione, va tenuto conto che, in generale, le persone con disabilità cognitive reagiscono in modo non sempre proporzionato all'età anagrafica.

5.3.4 Principali tipologie di interfaccia

In questo paragrafo verranno brevemente descritte le principali tipologie di interfaccia che possono essere utilizzate per veicolare efficacemente l'informazione ad un utente. All'informazione che deve essere veicolata all'utente possono essere applicati diversi livelli di semplificazione in base ad un livello di *confort* che la persona può definire in sede di profilazione.

In analogia con quanto già svolto, sono stati implementati sono tre livelli di comfort: normale, elevato, ottimo. Questi livelli permettono di poter offrire all'utente una informazione con diverse gradazioni di dettaglio e di complessità.

Interfaccia visuale

La vista rappresenta il canale principale per acquisire informazioni dall'ambiente circostante. Quella visuale è quindi una tipologia di interfaccia che è ben accettata dalla maggior parte dell'utenza ma il suo progetto può risultare particolarmente delicato nel caso si voglia prevedere il suo utilizzo anche da parte di persone con una parziale riduzione delle capacità visive.

A tal proposito, esistono normative consolidate a livello internazionale che permettono di trasmettere le informazioni nel formato più adatto alle specifiche esigenze di un utente.

Interfaccia audio e interfaccia vocale

Le interfaccia audio sono molto usate per notificare eventi all'utente e per la segnalazioni di situazioni di pericolo. Per quanto riguarda la possibilità di comandare i dispositivi, le interfaccie vocali sono molto usate grazie alla tecnologia di riconoscimento vocale che ha ormai raggiunto un elevato livello di maturità e l'utente è in grado di interagire con i dispositivi utilizzando il linguaggio naturale; questa interazione non necessita di nessun specifico processo di apprendimento né di particolari procedure. Numerosi studi mostrano che gli utenti anziani hanno un notevole interesse per questo tipo di interfaccia.

Attualmente sono in commercio numerosi tipi di software che agiscono come assistenti vocali, come ad esempio Siri della Apple, Cortana di Microsoft, Alexa sviluppato da Amazon e Google Assistant introdotto da Google. A questi software si accompagnano alcuni dispositivi che li rendono utilizzabili anche all'interno della casa, come ad esempio Amazon Echo e Google Home Smart Speaker. Il software di controllo resta in ascolto di una frase chiave per attivarsi (ad esempio "ok Google" per il sistema Google Home Smart Speaker).

Una volta riconosciuta la frase chiave, il sistema invia il comando dell'utente ad un server che gestisce un servizio su cloud dove avviene il riconoscimento del comando. A questo punto, in funzione del comando riconosciuto, il server invierà, sempre attraverso la rete internet, al software residente sulla piattaforma locale:

- comando per la lettura di informazioni (ad esempio condizioni meteorologiche);
- comando per la riproduzione di un contenuto multimediale;
- comando ad un attuatore (ad esempio l'accensione di una luce)

Il punto nodale di questi sistemi sono i servizi cloud di rete per il riconoscimento del linguaggio naturale. Si tratta di sistemi che hanno capacità di riconoscimento veramente significative, ma che necessitano di un collegamento internet a banda elevata per ridurre al massimo i tempi di latenza.

Interfaccia aptica

Il senso aptico comporta l'integrazione di informazioni da due sensi: tocco e cinestesia. I segnali tattili derivano dalla stimolazione di sensori nella pelle conosciuti come meccanorecettori.

Le informazioni cinestetiche provengono dai sensori nei muscoli, nei tendini e nelle articolazioni che segnalano la posizione e il movimento delle nostre membra e le forze generate dai muscoli. Poiché usiamo principalmente le nostre mani per esplorare il mondo tattile, il senso aptico è intimamente correlato alla funzione delle mani e al modo in cui le usiamo.

Diversamente dal sistema visivo, dove informazioni come il colore e la forma di un oggetto sono disponibili con il minimo sforzo, per acquisire informazioni tattili dobbiamo muovere le dita sulla superficie di un oggetto per percepirne la trama o dare dei piccoli tocchi con le nostre dita per determinare se essa è dura oppure morbida.

L'elemento essenziale della sensazione tattile e dell'esplorazione tattile è che c'è movimento attivo della mano, così l'informazione sensoriale che una persona riceve non viene solo dal contatto passivo ma dall'esplorazione attiva del ambiente.

All'interno della pelle ci sono quattro sottomodalità riconosciute, spesso indicate collettivamente come sensi cutanei, tocco, temperatura, dolore e prurito. Questi aspetti vanno tenuti in considerazione quando si vuole usare una interfaccia aptica con l'intento di compensare o sostituire la perdita di una funzione, a causa di malattie o traumi, in un altro sistema sensoriale.

Altro elemento da considerare è che la distribuzione dei meccanocettori varia nel corpo; quelli con grandi campi ricettivi sono scarsamente distribuiti. Diversi tipi di meccanocettori rispondono a diversi intervalli di frequenza di vibrazione applicata alla pelle.

Collettivamente, i meccanocettori rispondono alle vibrazioni sulla pelle da circa 0,4 Hz a 1000 Hz. Aree che hanno un'alta densità di recettori tattili, come i polpastrelli, sono molto più sensibili agli stimoli meccanici rispetto alle aree con densità inferiori, come il palmo.

Questa variazione di acutezza tattile è alla base di un'altra fondamentale differenza tra il tatto e la vista/udito, vale a dire che il senso del tatto è distribuito su tutto il corpo e quindi la capacità di percepire un particolare stimolo tattile varia attraverso la superficie della pelle e lo stesso stimolo tattile non sarà percepito in modo identico se applicato in zone diverse

5.3.5 Compilazione della matrice di fruizione

Con quanto è stato trovato nelle sezioni precedenti possiamo compilare la matrice di fruizione, indicando l'interfaccia utente che massimizza l'usabilità della tecnologia a seconda delle difficoltà dell'utente.

		DIFFICOLTA' FISICHE		**DIFFICOLTA' SENSORIALI**		**DIFFICOLTA' COGNITIVE LIEVI**
		Motorio	**Tremore mani**	**Canale Visivo**	**Canale Uditivo**	
TECNOLOGIE SMART HOME	**Sicurezza e controllo chiusura infissi**	Visuale/Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort normale)	Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort ottimale) Aptica (bassa cadenza)
	Sistema videosorveglianza	Visuale/Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort normale)	Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort ottimale) Aptica (bassa cadenza)
	Sistema automatismo tapparelle	Visuale/Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort normale)	Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort ottimale) Aptica (bassa cadenza)
	Sensore gas	Visuale/Audio (confort normale) Aptica (alta cadenza)	Visuale/Audio (confort normale)	Audio (confort normale) Aptica (alta cadenza)	Visuale (confort normale) Aptica (alta cadenza)	Visuale/Audio (confort ottimale) Aptica (alta cadenza)

	Sensore fumo	Visuale/Audio (confort normale) Aptica (alta cadenza)	Visuale/Audio (confort normale)	Audio (confort normale) Aptica (alta cadenza)	Visuale (confort normale) Aptica (alta cadenza)	Visuale/Audio (confort ottimale) Aptica (alta cadenza)
	Sensore allagamento	Visuale/Audio (confort normale) Aptica (alta cadenza)	Visuale/Audio (confort normale)	Audio (confort normale) Aptica (alta cadenza)	Visuale (confort normale) Aptica (alta cadenza)	Visuale/Audio (confort ottimale) Aptica (alta cadenza)
	Sensore presenza ambientale	Visuale/Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort normale)	Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort ottimale) Aptica (bassa cadenza)
	Sistema di rilevamento parametri clinici	Visuale/Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort normale)	Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort ottimale) Aptica (bassa cadenza)
	Sistemi audio/video	Visuale/Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort normale)	Audio (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale (confort normale) Aptica (bassa cadenza)	Visuale/Audio (confort ottimale) Aptica (bassa cadenza)

5.4 Sistema prototipale di interfaccia tattile

Recentemente si è assistito ad una vera esplosione delle interfacce visive e uditive utilizzate per interagire con computer e dispositivi mobili ed al corrispondente sovraccarico di informazioni sperimentato da molti utenti. Si è per questo motivo rinnovato l'interesse ad usare il senso del tatto per comunicare l'informazione.

I vantaggi della modalità tattile comprendono la grande area di pelle disponibile per presentare informazioni, l'efficacia della stimolazione tattile nel catturare la nostra attenzione e la sottoutilizzazione di questo canale di comunicazione.

Altro aspetto decisivo ed esclusivo è che la comunicazione tattile è privata, una considerazione che in molti contesti può risultare estremamente importante.

In questo quadro, nella ultima fase dell'attività di ricerca, in collaborazione con il DII “Tor Vergata”, l'ENEA ha realizzato e sperimentato nei suoi laboratori del C.R."Casaccia" un sistema prototipale di interfaccia tattile che, montato su un dispositivo indossabile (braccialetto o cintura) o su postazioni fisse (poltrona/letto) fosse in grado di fornire all'utente una informazione di contesto rilevata attraverso alcuni dei dispositivi tecnologici della smart home. Questa sperimentazione ha permesso di ampliare le tipologie di interfaccia sulle quali è possibile veicolare l'informazione all'utente in quanto implementato nelle precedenti annualità.

Questo aspetto è molto utile nel caso si voglia veicolare in modo efficace l'informazione ad utenti con una qualche disabilità legata alla vista o anche, più semplicemente, a coloro che potrebbero essere impegnati in attività tali da limitarne l'attenzione o, più in generale, la consapevolezza di trovarsi in una situazione che deve essere valutata perché significativa o anche potenzialmente a rischio.

In molti dispositivi in commercio come smartphone o smartwatch, la forma più semplice di comunicazione tattile è la notifica che si verifica quando il telefono o l'orologio vibra per indicare una chiamata in arrivo o un appuntamento imminente.

La vibrazione tattile è la fluttuazione della pressione sulla pelle nel tempo. La sensibilità della pelle ai movimenti vibratori è stata misurata come una funzione della frequenza di vibrazione. Una persona è in grado di rilevare le vibrazioni perpendicolare alla pelle con frequenza da circa 0,5 Hz fino a circa 700 Hz. Non si è ugualmente sensibili all'interno di questa gamma di frequenze: siamo più sensibile alle vibrazioni tra 200 e 300 Hz e progressivamente meno sensibile alle frequenze più basse e più alte. I quattro tipi di meccanocettori cutanei sono sensibili a diverse frequenze di vibrazione all'interno di questo gamma.

I segnali di vibrazione usati in preferenza sono quelli di pressione. In molti dispositivi è possibile personalizzare la vibrazione, abilitando diversi modelli di vibrazione a cui possono essere associate funzioni diverse. Questo aumenta il contenuto delle informazioni del segnale di vibrazione ma richiede che l'utente ponga una maggiore attenzione al messaggio in arrivo.

Per esempio, il ritmo di una vibrazione può essere cambiato rendendo gli impulsi più brevi per trasmettere un senso di urgenza; questo può essere usato per segnalare un appuntamento imminente o un messaggio di testo importante.

Le grandezza su cui è possibile agire sono l'ampiezza del segnale, la sua durata e la posizione sul corpo dove la vibrazione veniva applicata. Viceversa, la forma d'onda della vibrazione non sembra essere utile in un sistema di codifica tattile; la pelle non ha la capacità di elaborazione questa informazione come invece fa l'orecchio, dove le variazioni nella forma d'onda indicano il timbro di un suono.

Numerosi studi indicano che spesso si confondono la frequenza e l'ampiezza della vibrazione sulla pelle, il che significa che all'aumentare, a frequenza costante, dell'ampiezza della vibrazione, si percepisce un cambiamento sia dell'ampiezza che la della frequenza della vibrazione.

Ciò significa che sia la frequenza che l'ampiezza possono essere usate per creare un sistema di comunicazione tattile, ma non entrambe.

Una vibrazione a bassa frequenza e meno intensa del segnale potrebbe indicare una semplice notifica, mentre un segnale ad alta frequenza e più intenso potrebbe significare un allarme.



Figura 42-Moduli vibratili usati nei test di laboratorio

Sebbene semplici variazioni nella forma d'onda siano difficili da percepire, modulando la frequenza di un segnale di base è possibile creare pattern tattili che sono percepiti come variabili nella ruvidità. Ad esempio, quando un segnale base di 250 Hz è modulato da un segnale a 20 Hz esso viene percepito come più ruvido se confrontato con lo stesso segnale base ma modulato a 50 Hz.

Nei primi test condotti in laboratorio sono stati provati diversi posizionamenti dell'interfaccia su individui normodotati per valutare l'intensità della vibrazione e la zona di pressione.

Da questi primi test è emerso che per un sistema di tipo indossabile, il posizionamento sul polso realizzato attraverso una fascia elastica (o un braccialetto) risulta essere estremamente efficace dal punto di vista dell'intensità percepita della vibrazione e del minore ingombro nei movimenti, così come per una cintura.

Un'altra possibilità che si è esaminata è stata quella di inserire i dispositivi vibrazionali sulla parte alta dello schienale di una poltrona. Anche in questo secondo caso la percezione dell'intensità della vibrazione è risultata di un livello adeguato agli scopi del progetto.

Il progetto del sistema prototipale ha visto la realizzazione di un'unità dotata di circuito a microcontrollore alimentato a batteria che, interfacciato ad una rete Wi-Fi, possa pilotare il dispositivo vibrazionale.

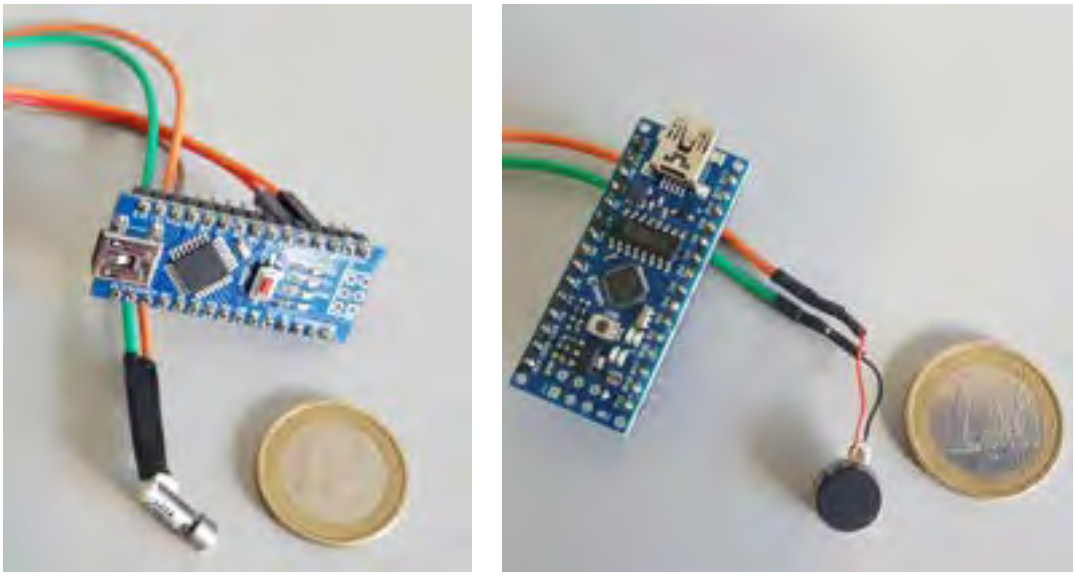


Figura 43-Due diversi dispositivi vibratili collegati ad una scheda Arduino Nano

Per quanto riguarda il microcontrollore, la scelta è caduta su un modulo della famiglia Arduino il MKR WIFI 1010 ESP32.

Si tratta di un modulo sviluppato per applicazioni IoT basate su trasmissione Wi-Fi. La scheda è composta da tre blocchi principali:

1. MCU Low Power ARM SAMD21 Cortex-M0 a 32 bit (Microchip Technology);
2. modulo Wi-Fi NINA-W10 Series (U-BLOX) low power 2,4 GHz IEEE® 802.11 b/g/n;
3. Co-processore per crittografia ECC508 (Microchip Technology).

Il microprocessore è un SAM D21 (Microchip) a 32bit; un dispositivo con architettura di tipo ARM (Advanced RISC Machine) che è in grado di operare ad una frequenza massima di 48 MHz.

Dispone di una memoria Flash di tipo programmabile pari a 256KB e una memoria volatile SRAM pari a 32KB, un ADC (Analog Digital Converter) a 12-bit di tipo SAR (Successive Approximation Register) condiviso fra 14 canali per una velocità massima di campionamento pari a 350ksps e un DAC (Digital Analog Converter) a 10-bit che può lavorare fino alla frequenza di 350ksps.



Figura 44-Scheda Arduino MKR WiFi 1010

È dotato, inoltre, di sei porte di comunicazione di tipo seriale che possono essere configurate come: I2S, I2C (fino a 3.4 MHz), UART, SPI. Dispone, inoltre di 22 I/O pin di tipo digitale (di cui 12 utilizzabili come PWM) e di sette ingressi di tipo analogico nonché di una porta USB 2.0 (Universal Serial Bus) utilizzabile fino a 12Mbps.

Per quanto riguarda il consumo di energia, i dispositivi SAM D21 supportano una funzione chiamata SleepWalking che consente alla periferica, che si trovi in condizioni di sospensione, di riattivarsi da tale stato in base a condizioni predefinite, consentendo in questo modo alla CPU di riattivarsi solo quando è necessario, (ad es. quando viene superata una soglia o un risultato è pronto). Questa modalità, garantendo un'efficace gestione della carica della batteria, permette l'utilizzo del sistema portatile riducendo il numero delle operazioni di ricarica. La scheda è, inoltre, predisposta con un coprocessore che permette comunicazione sicura con crittografia SHA-256.

La tensione di funzionamento è pari a 3.3 V e la scheda può funzionare con una batteria a polimeri di litio (Li-Po) per la quale è stato predisposto un circuito di ricarica. Risulta quindi adatto per l'applicazione che si vuole realizzare sia per le caratteristiche elettriche che per il supporto fornito con la piattaforma che permette un facile e rapido sviluppo del sistema.

5.4.1 Implementazione del sistema prototipale di interfaccia tattile nella smart home

Il sistema prototipale di interfaccia tattile descritto precedentemente è stata installato su due diversi dispositivi:

- un braccialetto indossabile dall'utente;
- su una fascia applicata allo schienale di una poltrona.

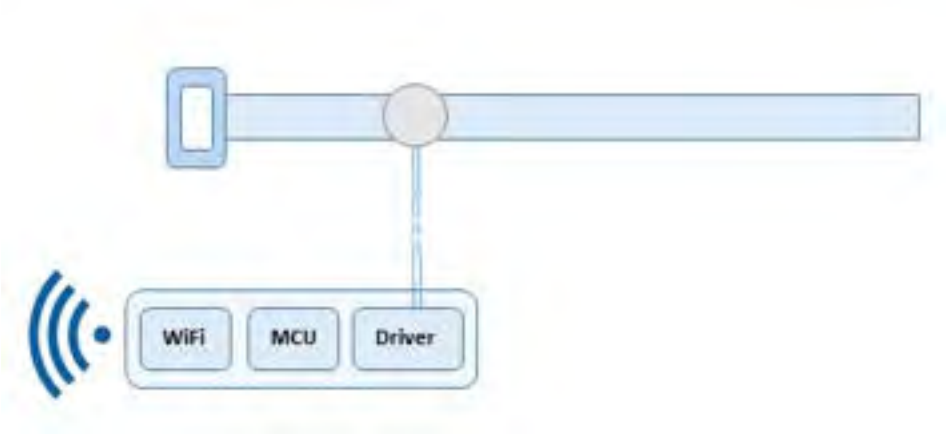


Figura 45-Schema a blocchi del sistema tattile da utilizzare sul braccialetto

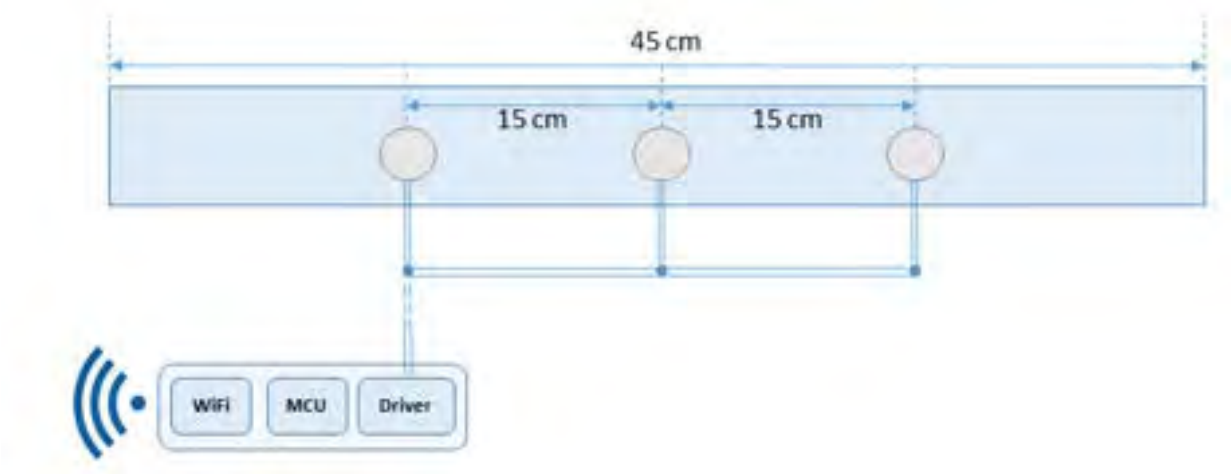


Figura 46-Schema del sistema tattile da applicare sullo schienale della poltrona

L'applicazione che è stata testata riguardava la trasmissione di una informazione di contesto all'utente rilevata da alcuni dei sensori della smart home.

Sono stati scelti il sensore che rileva l'apertura di una porta, quello per rilevare la presenza di fumo nell'ambiente e quello che rileva un allagamento.



Figura 47-Sensore di apertura porta, rilevamento fumo e allagamento

Il dispositivo progettato è stata quindi testato nei due diversi allestimenti.



Figura 48-Schema a blocchi del sistema prototipale di interfaccia tattile

La procedura all'interno della quale si è voluta sperimentare l'interfaccia tattile ha previsto che il dispositivo prototipale:

- attraverso il link Wi-Fi riceva una notifica provenienti dal sistema di controllo della smart home per uno dei sensori implementati;
- riconosca quale, fra gli eventi previsti, si è verificato;
- decodifichi il comando e piloti il dispositivo vibratile con un segnale modulandone la cadenza secondo la codifica prevista.

L'utente, avvertita la vibrazione, riconosce il tipo notifica che gli è stata inviata (in base alla cadenza percepita) e, attraverso un pulsante collegato all'unità wireless, invia un segnale di ACK al sistema di controllo che interrompe la vibrazione.

L'informazione rilevata da questi sensori è stata classificata come potenzialmente rappresentativa di:

- un rischio potenziale o una situazione da esaminare (apertura porta);
- un rischio concreto o una situazione grave (presenza di fumo/allagamento).

Questa informazione è stata resa all'utente sul canale sensoriale tattile (nei due diversi allestimenti descritti precedentemente) attraverso una vibrazione con una differente modulazione in base alla diversa classe di rischio, così da permettere alla persona di distinguere l'importanza della notifica:

- vibrazione pulsante a bassa cadenza (per il rischio potenziale, situazione da esaminare)
- vibrazione pulsante ad alta cadenza (rischio concreto, situazione grave).



Figura 49- Schema a blocchi del sistema implementato per la sperimentazione (per la poltrona)

6 Accettabilità della strumentazione per la gestione energetica e l'assisted living

Con la collaborazione della società Mind Force, è stato condotto uno studio sull'accettabilità della strumentazione per la gestione energetica e l'assisted living come descritto in dettaglio nel Report RdS/PAR2017/045. Gli obiettivi dell'indagine sono stati:

- Rilevazione e analisi dell'accettabilità della tecnologia Smart Home, ovvero abitazione dotata di un sistema di monitoraggio dei consumi energetici, comfort e sicurezza;
- Studio del cambiamento comportamentale domestico e quotidiano;
- Analisi delle aspettative e dei bisogni in merito all'installazione in ambienti domestici della strumentazione per la gestione energetica e l'assisted living;
- Valutazione del livello di consapevolezza di comportamenti sostenibili da parte degli utenti-campione;
- Definizione dei criteri e delle condizioni necessari per definire il livello di accettabilità di una proposta tecnologica anche in previsione della fornitura di servizi di assisted living.

Infine, nel corso dell'attività svolte da ENEA, è stato verificato come l'inserimento della sensoristica "smart home" possa contribuire alla diffusione di modelli abitativi Social Residential Housing, alternative e complementari alle più tradizionali Social Housing.

6.1 Indagine sull'accettabilità della strumentazione per la gestione energetica e l'assisted living

L'indagine è stata condotta principalmente nel quartiere Centocelle e nei quartieri Prenestino-Centocelle, Alessandrino, Prenestino-Labicano e Don Bosco, prendendo come riferimento l'asse costituito dalla via Casilina, nella città di Roma. La suddetta area è interessata dalla sperimentazione condotta da ENEA di una rete di Smart Homes come descritto in dettaglio nel Report RdS/PAR2017/047– "Smart Home Network: realizzazione di un dimostrativo pilota e implementazione dei servizi di aggregazione".
In particolare, i Nuclei Familiari (NF) che hanno costituito il Gruppo Sperimentale nello studio sull'accettabilità di tecnologia *smart* in ambiente domestico e per la rilevazione dei cambiamenti comportamentali a favore di pratiche sostenibili, sono attualmente coinvolti nel progetto di un dimostrativo sperimentale di Smart Homes Network. Tale sistema tecnologico ha previsto l'installazione, nelle residenze dei partecipanti alla sperimentazione, di un kit di sensori e attuatori wireless per il monitoraggio dei consumi energetici, del confort indoor ed il controllo di alcune utenze termiche ed elettriche.

6.1.1 Campione di indagine

Il campione di indagine risulta composto da 48 soggetti suddivisi in due gruppi: il primo rappresenta il **Gruppo Sperimentale** (**GS**) composto da **10 Nuclei Familiari (NF)**, totale 28 individui, mentre il secondo, **Gruppo di controllo** (Gc), è composto da **14 Nuclei Familiari**, totale 20 persone. Per delineare un profilo dei Nuclei Familiari (NF) coinvolti, sono stati indagati i seguenti indici: età, genere, professione, istruzione, l'essere proprietari o affittuari della propria abitazione e la composizione del nucleo familiare.
Totale dei **questionari compilati** (GS+Gc): 24.
Totale dei **Nuclei Familiari** (GS+Gc) coinvolti nell'indagine: 24.
Totale dei **partecipanti allo studio** (somma dei componenti di ciascun NF): 48.
Numero di proprietari o affittuari dell'abitazione di residenza: I NF-GS risultano tutti proprietari, mentre 6/14 NF-Gc sono residenti in case in affitto.
Età media: per il GS è di 45 anni per gli adulti e 9 anni per i minorenni, mentre per il Gc è di 36,7 anni e i componenti del Gc sono tutti ascrivibili all'età adulta tranne un bambino di anni 3.
Livello di **istruzione** dell'intero campione di indagine: medio-alto.

Genere: la maggior parte degli interlocutori, ovvero coloro che hanno compilato i questionari a nome del proprio NF, risulta di genere femminile
Profilo Nuclei Familiari (NF): l'80% del GS è costituito da NF da 2 a 4 componenti, mentre il 71,42% del Gc da nuclei formati da un solo componente.
Professione: la maggior parte degli interlocutori risulta svolgere la professione di impiegato (il 42,85% del GS e il 42,12% del Gc).

6.1.2 Quadro metodologico

Ad ogni NF è stato somministrato un protocollo composto da un questionario comprendente domande a risposta aperta, domande a risposta chiusa e due questionari standardizzati: "The Mos Social Support Survey" di C.D. Herbourne and A.L. Stewart (1991) e "Lubben Social Network Scale-Rivisto (LSNS-R)" per indagare il livello di supporto socio-affettivo percepito.

Questionario realizzato dal team di ricerca per perseguire i fini specifici dello studio
Titolo: "Studio sull'accettabilità, da parte degli utenti residenziali, della strumentazione per la gestione energetica e l'Assisted Living"
Obiettivo: "Rilevazione dell'accettabilità della tecnologia Smart Home e del cambiamento comportamentale domestico".
Destinatari: Interlocutori dei Nuclei Familiari che hanno costituito il campione d'indagine.
Modalità di somministrazione: Tramite via telematica, attraverso il form "Moduli Google" e intervista face-to-face.
Categorie di domande: Dati per delineare il profilo del Nucleo Familiare; Utilità; Facilità; Comportamento in casa; Tecnologia e risparmio energetico: benefici, ambiente e società; Cultura sostenibile; Collaborare, allargare & partecipare. Da casa mia al quartiere; Proposte; Verso l'ambient assisted living (all); Supporto sociale.
Totale sezioni di domande: Dieci.
Totale pagine: Quattordici

6.1.3 Risultati e analisi

I dati emersi dall'indagine mostrano che la **tecnologia smart** risulta **accettabile** e i vantaggi derivanti dall'installazione di una simile tecnologia nella propria abitazione sono indicati in misura maggiore rispetto agli svantaggi. Per l'analisi dei risultati sono stati considerati il numero e il profilo socio-culturale dei NF che hanno costituito entrambi i gruppi (sperimentale e di controllo).
Un'indagine condotta su un campione numericamente ristretto presenta il limite di non poter giungere a considerazioni che possano valere in riferimento a contesti di ricerca numericamente e territorialmente più ampi, tuttavia la ricchezza dei dati ottenuta tramite uno studio che si è basato su un approccio quali-quantitativo e interdisciplinare ha permesso di mettere in luce importanti aspetti di cui sarà cruciale tenere conto nell'ideazione e realizzazione di nuove fasi del progetto di sperimentazione di tecnologia Smart in ambiente domestico e promozione di pratiche di comportamento sostenibile.
Utilità: la promozione del risparmio, la visibilità dei vantaggi e la lettura facile dei dati di consumo appaiono percepiti come i tre principiali requisiti di cui è dotata la tecnologia dal **GS**. Il **Gc** richiede, come principale requisito, la capacità della tecnologia di dare informazioni sul risparmio. Dalle sezioni successive emerge come il risparmio sia inteso, associato e ricercato, da entrambi i gruppi, principalmente inteso come risparmio economico.
Facilità: la **tecnologia** è percepita dal 70% dei NF-GS come **non fastidiosa** e **non rischiosa**. Solo il 20% dei NF-GS fa riferimento a rischi connessi a una violazione della privacy, mentre il 10% dei partecipanti al GS lamentano sia la perdita di tempo a comprendere la tecnologia sia la bassa qualità di servizio. Come emerso dai suggerimenti proposti, i **NF-GS** hanno manifestato la volontà di avere un **maggiore controllo** sulla tecnologia e di disporre di una tecnologia **più adatta** ai propri bisogni e alle proprie abitudini e **più flessibile** rispetto all'uso che se ne fa, considerando soprattutto i tempi di permanenza in casa. Per quanto riguarda il Gruppo di controllo (Gc), il 70% riporta rischi connessi alla violazione della privacy, il 60% circa è preoccupato

rispetto al condizionamento dei comportamenti in casa e un 35% ritiene una perdita di tempo comprendere il funzionamento della tecnologia ed ha paura di possibili risvolti negativi sulla salute (si veda nel dettaglio cap. 2.5).

Progetti ed azioni future: **tecnologie intuitive ed automatizzate. Il campione richiede ai tecnici produttori ed installatori, nel caso di progetti similari futuri, di** essere più chiari possibile, sin dalle fasi precedenti nuove installazioni di tecnologia smart, di ribadire la garanzia del rispetto della privacy, anche dando maggiori informazioni su come i dati e la comunicazione inerente, verrà gestita.

Comportamento in casa: Gli utenti che hanno aderito alla sperimentazione (**NF-GS**), erano già attenti alla sostenibilità e il 60% dei partecipanti non ha notato cambiamenti nelle abitudini e nel comportamento. Il Gc è fortemente rappresentato da giovani soggetti single (70%) o che lavorano fuori casa; hanno poco tempo a disposizione e risulta fondamentale l'utilizzo di tecnologie intuitive e facili da gestire. ***Sfide future:*** come promuovere e estendere la pratica della sostenibilità presso altre tipologie di NF (per esempio, con reddito e livello di istruzione più basso?); quali progetti proporre per orientare in maniera più capillare i comportamenti verso una maggiore sostenibilità? I dati emersi confermano quanto dibattuto dalla letteratura; in generale, è emersa una resistenza al cambiamento delle proprie abitudini fra la popolazione che ha costituito il campione di indagine.

Tecnologia e risparmio energetico: benefici, ambiente e società. I NF-GS dichiarano che i benefici derivanti dall'installazione di tecnologia Smart nell'ambiente domestico possano portare dei benefici alla collettività nel lungo periodo (40%) e nel lungo/breve periodo (40%). Tuttavia questa convinzione non appare forte e sembra scontrarsi con la realtà socioculturale in cui si vive e che sembra vanificare ogni buona pratica adottata come singoli individui/NF. L'esperienza della sperimentazione così come la discussione di vantaggi/svantaggi della tecnologia non appare condivisa con amici e conoscenti, soprattutto per mancanza di tempo. I NF-Gc sono convinti dei benefici derivati dalla tecnologia smart e, in percentuale, il 50% indica un lungo periodo per goderne appieno mentre il 57% breve/lungo periodo. Solamente il 14% del gruppo di controllo non ritiene ci possa essere un beneficio dall'utilizzo di tecnologie assisted living.

Cultura sostenibile: la maggior parte dei partecipanti (GS e Gc) lamenta una mancanza di una cultura sostenibile in Italia e le difficoltà che spesso si incontrano nel mettere in atto comportamenti sostenibili nella propria città e nel proprio quartiere. **Progetti futuri:** Appare utile continuare a sensibilizzare ed informare la comunità alle politiche sostenibili, anche attraverso campagne di promozione, gadget personalizzati o accattivanti volantini pubblicitari.

Collaborare, allargare & partecipare: da casa mia al quartiere. Quasi tutti i partecipanti hanno manifestato il proprio interesse ad essere coinvolti in fasi successive allo studio. Questo aspetto rappresenta un risultato positivo da considerare per dare continuità allo studio e sperimentare nuove tasks progettuali finalizzate sia al miglioramento della tecnologia sia ad un coinvolgimento più attivo da parte dei partecipanti per quanto riguarda la promozione e l'adozione di comportamenti maggiormente sostenibili.

Proposte. Per quanto riguarda le proposte inerenti la tecnologia, è stato ribadito in maniera netta dagli interlocutori del GS l'interesse verso una **tecnologia più personalizzata**, che renda l'utente maggiormente consapevole e responsabile attraverso un coinvolgimento più attivo. Dalle proposte che riguardano il rapporto tra la vita nel quartiere e la tecnologia è emerso l'interesse preponderante verso servizi che possano agevolare pratiche burocratiche, la comunicazione istituzioni-cittadini e la fruizione di servizi pubblici. Il Gc inoltre ha manifestato evidente volontà di partecipazione e una forte rete comunitaria di quartiere. ***Sfida/riflessione:*** non emerge un interesse verso azioni che possano favorire la nascita di nuove relazioni sociali nel quartiere, creare e sentirsi parte di una comunità. Come si evince da altre sezioni, i partecipanti allo studio (intero campione) fanno riferimento a problematiche, comportamenti e benefici percepiti come questioni che riguardano quasi esclusivamente la sfera individuale e/o il ristretto NF, non il condominio né tanto meno il quartiere o la città.

Verso l'Ambient Assisted Living (ALL): la maggior parte dei partecipanti si è dichiarata interessata alla tecnologia che includa servizi per l'ALL. Una **maggiore facilità di comunicazione** è emersa come l'obiettivo di maggiore interesse da parte dei partecipanti. La comunicazione tramite videocamera con i propri familiari, tramite telefono/applicazioni con il proprio medico curante e fra se stessi e il proprio corpo (mediante l'uso di strumenti in grado di dare informazioni sul proprio stato di salute), tramite telefono con altri ammalati è emersa come un fattore cruciale da considerare per migliorare la qualità della vita, la sicurezza e l'autonomia delle persone fragili, ridurne la solitudine e dare maggior libertà e sollievo a chi si prende cura di esse. Emerge

inoltre il bisogno di supporto alla motilità e, benché il quartiere disponga anche di una linea metro, viene ribadita la necessità di trasporti veloci e facili da utilizzare anche all'interno del quartiere stesso. **Supporto sociale:** Poter contare su una solida rete sociale appare come un aspetto comune ai due gruppi che hanno costituito l'intero campione di indagine. L'importanza delle relazioni interpersonali nelle nostre vite è diventata sempre più chiara. Sia cercare che ricevere aiuto da altre persone rappresenta una strategia per affrontare il quotidiano. La disponibilità degli altri nel fornire aiuto per il sostegno emotivo può proteggere le persone da alcune conseguenze negative di una grave malattia o di situazioni stressanti. L'interesse per il sociale è aumentato notevolmente negli ultimi anni in ragione del fatto che la disponibilità di supporto può influire favorevolmente sulla salute di una persona e sul suo benessere emotivo.

6.1.4 Conclusioni

L'indagine condotta offre numerosi spunti di riflessione e dà concretezza ai concetti approfonditi attraverso la letteratura. Da un lato la rilevazione dell'accettabilità da parte di coloro che hanno partecipato alla sperimentazione permette di abbozzare un quadro di come la tecnologia venga percepita e fruita nella vita quotidiana e nell'ambiente domestico delle famiglie. A questo proposito i Nuclei Familiari del Gruppo Sperimentale hanno manifestato entusiasmo, avanzato proposte di miglioramento e sollevato critiche sulla base dell'esperienza diretta di tecnologia *smart*. Dall'altro lato gli interlocutori del Gruppo di Controllo hanno manifestato le proprie aspettative e attese nei confronti di tale tecnologia, sulla base dei loro attuali bisogni. I dati emersi dall'indagine dell'intero campione potranno essere utili sia agli Enti promotori di ulteriori studi in tale ambito di ricerca sia ai produttori di dispositivi di tecnologia *smart* ai fini di una maggiore diffusione di tale tecnologia e di un più efficace incoraggiamento di comportamenti sostenibili.

1. **Analisi della ricerca sulla tematica dell'accettabilità delle tecnologie smart in ambito domestico.** Dallo studio condotto, la tecnologia *smart* appare accettabile dalle famiglie coinvolte nella sperimentazione, ma non ha favorito una maggiore sensibilità delle stesse verso le problematiche ambientali e non ha contribuito a modificarne le abitudini. Dal confronto fra i dati relativi al Gruppo Sperimentale con quelli del Gruppo di Controllo è emerso un ampio divario fra le aspettative nei confronti della tecnologia smart da parte di chi non ha ancora avuto modo di fruirne e i requisiti che, invece, le ha attribuito chi l'ha sperimentata. Le aspettative del Gc sono apparse di gran lunga più ampie soprattutto in riferimento alla possibilità di essere informati sul risparmio energetico (92,85% Gc vs 20% GS). Per la brevità della durata della sperimentazione, è plausibile ritenere che il GS non abbia potuto accedere a tali informazioni alla fase attuale del progetto, tuttavia un simile dato offre un importante spunto di riflessione per future azioni di sperimentazione e ricerca nonché di sviluppo e produzione di dispositivi di tecnologia smart.

2. **Individuazione della metodologia e tipologia di comunicazione più appropriata per comunicare agli utenti finali le informazioni energetiche al fine di incrementare la loro consapevolezza ed agevolare l'adozione di comportamenti energeticamente più efficienti.** In linea con quanto discusso dalla letteratura, si è rilevato, ad esempio, che se l'utente percepisce un **real-time benefit** dal risparmio energetico (ad esempio con un abbattimento dei costi sulla bolletta), molto probabilmente persevererà nell'adozione di comportamenti sostenibili. Il **feedback** è necessario, ma non appare come una condizione sufficiente per perseverare nell'adozione di comportamenti sostenibili. Ulteriori aspetti giocano un ruolo altrettanto importante come, ad esempio, le **condizioni dell'abitazione**, la presenza di **infrastrutture e politiche** che promuovano la **cultura sostenibile** e la possibilità di instaurare un **rapporto di fiducia** con coloro che siano incaricati della **manutenzione della tecnologia** (Faruqui et al. 2010). Da un confronto fra il Gruppo Sperimentale (GS) ed il Gruppo di Controllo (Gc) emerge nel GS una prevalenza di aspettative legate alle potenzialità della tecnologia ed una richiesta di personalizzazione relativa al fattore umano ed alla comunità. Nel Gc, invece, si nota una maggiore attenzione ai consumi (stranamente non presente nel GS) ed alla funzionalità. Anche qui c'è molta attenzione alla persona (famiglia, comodità domestica, etc.). Non è chiaro agli utenti del GS l'impatto sui consumi che la tecnologia in esame sta avendo. Ne consegue che un intervento per la modificazione di routine legate al consumo di energia è ancora prematuro. A tal

fine sarà necessario implementare sistemi di feedback positivo e negativo (con relativi rinforzi percettivi e cognitivi). Questi sistemi di feedback, al fine di instaurare nuove routine, dovranno essere frequenti ed in tempo reale o a breve termine.

3. **Definizione dei criteri e delle condizioni necessari per definire il livello di accettabilità di una proposta tecnologica anche in previsione della fornitura di servizi di assisted living.** Sull'adozione di comportamento domestici sostenibili influisce il rapporto che gli individui vivono in quanto cittadini e residenti di un determinato territorio con le istituzioni e il contesto circostante. I risultati emersi dal presente studio confermano come l'attenzione delle istituzioni al cittadino influenzi e rispecchi un maggiore o minore impegno del cittadino verso la sostenibilità privata. Inoltre, la sostenibilità sembra essere legata a un linguaggio non tanto sociale e uniforme all'interno di una comunità territorialmente circoscrivibile, quanto piuttosto attraverso una comunicazione capillare e strettamente relata alla liberazione delle capacità individuali e ad un'azione ideata dall'individuo stesso. Esiste una aspettativa di assisted living sia nel GS che nel GC. Inoltre, altri incentivi legati alla personalizzazione dell'ambiente domestico ed a servizi aggiuntivi (smart home, smart health, smart wellness, etc.) favoriranno una maggiore compliance con consumi smart. Potranno costituire servizi a pagamento integrati o convergenti con altri media, generando valore aggiunto per il provider. Potranno, infine, convergere con i social media e quindi favorire una maggiore integrazione della Smart Community.

4. **Individuazione della metodologia e tipologia di comunicazione più appropriata per comunicare agli utenti finali le informazioni energetiche al fine di incrementare la loro consapevolezza ed agevolare l'adozione di comportamenti energeticamente più efficienti.** I due campioni indagati, sia quello che comprende coloro che hanno potuto beneficiare di un periodo di prova sia quello che comprende coloro che hanno solo ipotizzato tecnologie per l'assisted living, hanno avanzato, nella eventuale continuità di questa task progettuale, nuove ipotesi di tecnologie più vantaggiose e riflettenti le soluzioni da loro stessi proposte. I partecipanti all'indagine sono apparsi come utenti che vogliono avere un ruolo attivo nella gestione, addirittura nella progettazione in alcuni casi, dei dispositivi di tecnologia smart. Si tratta di utenti che possiedono dimestichezza con apparecchiature tecnologiche e che sono propensi all'installazione della tecnologia smart in casa a patto che essa non infastidisca, quanto piuttosto risponda ai propri specifici bisogni di individui e famiglie. La domanda di personalizzazione ed integrazione con l'ambiente domestico (smart home) sembra la richiesta più chiara. La comunicazione come contenuti e modalità (sensoriale, smartphone, web, voce, scritta) dovrebbe essere lasciata ad opzioni possibili a scelta dell'utente. La frequenza della comunicazione è un fattore centrale per il quale si potrebbe considerare una modulazione di frequenze su differenti canali.

I risultati di indagine hanno permesso di valutare eventuali scenari progettuali futuri facendo riferimento alle potenzialità e riflessioni emerse da parte dei partecipanti. Le volontà e le risorse qualitative emerse in termini di capacità e proposte migliorative dei servizi e delle tecnologie adottati, accettati o meno e ipotizzati come migliorabili, permettono di costruire un quadro di azioni potenziali future relativamente a una **tecnologia più personalizzata, integrativa e facile** anche per i bisogni risolvibili attraverso il digital assisted living.

6.2 Impatto della sensoristica del modello prototipale Smart Home sull'edilizia residenza pubblica (E.R.P) per definire gli elementi in grado di favorire la transizione verso edifici Smart di housing sociale.

Come era già stato evidenziato nel Report RdS/PAR2016/003: "*Il position paper del MIUR su "moving forward for an ageing society: bridiging the distance" prende lo spunto dalle considerazioni contenute nel documento dell' OECD Science and Technology Industry Outlook 2012 intitolato "Science and Technology perspective on an ageing society". L'obiettivo del documento OECD è stato quello di "... portare la dimensione scientifica e tecnologica (S & T) dell'invecchiamento, della salute e della disabilità in un focalizzazione più nitida e stimolare l'interesse verso un ulteriore pensiero".*

Il capitolo citato si basava, tra l'altro, sui risultati del workshop OECD / APEC tenutosi a Tokyo nel 2012 incentrato sulle tecnologie intelligenti e sul loro potenziale ruolo nel rispondere alle sfide delle società che invecchiano.

L'analisi demografica presentata dall'OCSE nel suddetto documento propone uno scenario critico, in particolare per l'Italia, in cui la popolazione di 65 o più anni dovrebbe raggiungere il 30% entro il 2050, mentre la quota del gruppo da oltre 80 anni dell'età dovrebbe raggiungere circa il 15% della popolazione totale. Questa rivoluzione "grigia" influenzerà praticamente ogni aspetto delle nostre società, delle nostre economie e delle nostre vite e richiede un cambiamento politico profondo e globale in tutti i settori strategici, con una prospettiva e un approccio completamente innovativo verso possibili soluzioni e / o strategie di mitigazione.

Il modello di sviluppo umano più diffuso ossia quello urbano riassume in se aspetti positivi e negativi determinati dalla stessa natura della città.

Nonostante gli aspetti negativi, vivere in una città offre ancora un certo numero di vantaggi riconosciuti ampiamente dalle comunità, principalmente legati a una maggiore disponibilità di servizi ai cittadini e che riescono a soddisfare anche la maggior parte delle esigenze dei soggetti più vulnerabili e fragili della società umana.

Tuttavia le criticità urbane possono influenzare negativamente la vita dei cittadini quando il funzionamento della città è compromessa da fattori interni o esterni.

C'è la necessità di riorganizzare la vita urbana, preservando le interconnessioni fisiche e culturali che hanno agito come la sua forza iniziale, evitando un'eccessiva interdipendenza che potrebbe causare seri problemi cruciali.

Dato questo contesto generale, i cittadini vulnerabili, in particolare gli anziani e i soggetti fragili, sono maggiormente colpiti dalle inefficienze causate da gravi emergenze urbane."

Dal che emerge che l'aumento della speranza di vita ha raggiunto una dimensione che richiede una revisione completa dell'offerta di alloggio, concentrandosi maggiormente sulle esigenze degli anziani, una quota sempre più grande della popolazione con vari gradi di autonomia, da attività attiva e indipendente a persone disabili o non auto -sufficiente. Tra questi le fasce di fragilità più estrema, ossia quelle frange della popolazione urbana, che residuali oramai più non sono, e che fanno affidamento sulla concessione in affitto di alloggi di edilizia residenziale pubblica (E.R.P).

L'obiettivo dell'attività é stato lo sviluppo di un modello abitativo (dal singolo alloggio alla aggregazione di più alloggi in un unico organismo edilizio) che evidenzia come la possibilità di combinare i tradizionali servizi energetici a servizi più innovativi di assisted living per una specifica categoria di utenza (anziani o soggetti fragili) possa consentire tempi più rapidi nel rientro dei costi di investimento.

I progetti denominati Smart Social Buildings nascono dall'osservazione e valutazione dei nuovi paradigmi dell'abitare contemporaneo e della innovazione che pervade la filiera della produzione propria del settore edilizio. Tali modelli si configurano come soluzioni progettuali rinnovate e dotate di un alto livello di modularità, dove il concetto di sistema di costruzione si basa sull'integrazione di più soluzioni tipologiche e di molteplici prodotti industrializzati disponibili sul mercato [Botticelli et al., 2018].

L'innovatività di tali modelli abitativi si traduce in progetti di edifici residenziali che integrano specifici aspetti propri del social housing (come ad esempio il basso costo) combinando al contempo soluzioni intelligenti

innovative in grado di supportare i diversificati modelli dell'abitare e di supportare specifici servizi alla persona che possono essere erogati secondo tre modalità:

- da uno staff di persone qualificate esterne all'edificio (domiciliarizzazione del servizio);
- da uno staff di persone qualificate interne all'edificio (portando alla individuazione di aree specifiche per i servizi interne all'edificio);
- da utenti finali, non necessariamente qualificati, in grado però di supportare e produrre essi stessi un servizio ad altre persone.

Un ulteriore aspetto di forza di questo modello è rappresentato dall'integrazione di soluzioni in grado di soddisfare aspetti sociali e di controllo energetico attraverso: (a) la dotazione in ogni appartamento di uno speciale sistema di sensori; (b) l'individuazione di aree comuni in cui concentrare (e quindi poter controllare e gestire in maniera efficace) i carichi elettrici (ad esempio lavatrici, asciugatrici); (c) assicurando infine la fornitura di servizi innovativi come lavanderie comuni, aree giochi per bambini, aree di studio e biblioteche, palestre riabilitative, per sostenere l'approccio intergenerazionale e multiculturale [Civiero et al., 2017].
In un modello abitativo che promuove un'alta qualità della vita, l'aiuto reciproco tra i residenti potrebbe seguire il modello del volontariato. Per questo motivo un anziano potrebbe prendersi cura dei bambini mentre giocano nella stanza dei giochi, o gli adolescenti potrebbero formare gruppi di studio o aiutare i più giovani, se in difficoltà. Esistono infatti un numero infinito di possibilità che potrebbero essere aperte in un ambiente di integrazione sociale dove la componente individuale viene rispettata mentre quella sociale viene enfatizzata nella misura in cui ogni residente considera appropriato.
Pertanto, l'approccio sistemico al progetto supporta adeguatamente l'opportunità di identificare la distribuzione ottimale dei caratteri tipologici e la loro aggregazione all'interno dell'edificio, definendo un mix flessibile che si adatta alle richieste programmatiche e seguendo configurazioni articolate all'interno del sistema dell'edificio.
Le attività ricerca sono state dunque focalizzate sulla modellizzazione di un nuovo sistema di building aperto con l'obiettivo di testare diversi usi e integrare diverse soluzioni tipologiche e tecniche fornite da diversi fornitori di componenti, secondo la logica e i criteri di progettazione di un sistema aperto [Arbizzani et al., 2017].

La modellizzazione si avvale di una configurazione specifica derivata dall'adozione del sistema costruttivo "ECO.H (Environment conscious interactive buildings)", un prototipo di sistema costruttivo aperto sviluppato in coerenza ad un modello informativo basato sul formato aperto, come definito dalle norme internazionali ISO/TS 12911 (Framework for Building Information Modelling – BIM - guidance) e ISO 16739 (Industry Foundation Classes - IFC - for data sharing in the construction and facility management industries). Il sistema costruttivo aperto "ECO.H" si basa infatti su una piattaforma collaborativa digitale di building information modeling, all'interno della quale sono contenute tutte le informazioni tecniche (sia tipologiche che tecnologiche) necessarie per sviluppare il progetto avendo considerazione delle caratteristiche morfologiche, prestazionali e tecnico-economiche di prodotti e configurazioni tipologiche selezionabili a catalogo.
"ECO.H" si struttura come un sistema costruttivo aperto che, in rispetto alla normalizzazione di sistema edilizio definito dalle disposizioni della norma UNI 11337-1:2017, permette l'intercambiabilità delle soluzioni tipologiche e tecnologiche che potranno essere scelte a catalogo in base alle specifiche esigenze di ogni progetto. In questo modo il progettista potrà avvalersi di un know-how tecnologico che velocizza l'iniziale fase di organizzazione delle famiglie di sistema e di quelle componenti caricabili di cui - di volta in volta - andrebbe verificata la compatibilità e congruenza.
Seguendo un approccio progettuale, che coinvolge anche la progettazione del sistema ambientale, il sistema interpreta e accoglie le specificità dell'abitare secondo una tipizzazione basata su regole modulari definite: (a) dalla destinazione d'uso, (b) dalla funzione dell'organismo edilizio e (c) dalla modularità strutturale che meglio si adatta ad ogni tipologia edilizia. La sistematizzazione della componente tipologica del progetto supporta il processo di scelta dei caratteri distributivi e le modalità di aggregazione delle diverse unità immobiliari, definendo di volta in volta un assortimento flessibile e compatibile con le richieste programmatiche, e configurazioni maggiormente articolate dell'impianto edilizio.

Il sistema è aperto sia all'implementazione di informazioni tecniche - derivate dalla costruzione e dall'integrazione di prodotti e soluzioni intelligenti, sia tipologiche – derivate dal mix di utenti che vi risiederanno. La modellazione e l'informatizzazione dei dati attraverso il building information modeling costituisce quindi uno strumento indispensabile anche per l'interoperabilità dell'organismo edilizio con le distinte soluzioni di ICT e IoT, in una prospettiva non più solo teorica di città intelligente.
L'approccio sistemico restituisce così un insieme di soluzioni in grado di soddisfare, con prestazioni e servizi, le esigenze di utenti specifici o di una intera collettività, in cui il sistema di costruzione è concepito da un insieme di componenti ambientali - che interpreta e accoglie la specificità del vivere - e aspetti tecnici che soddisfano più requisiti. Una volta raccolte e organizzate tutti gli input di utenza e le alternative tecniche per il progetto specifico, la matrice del sistema può essere completamente definita.
Lo studio tipologico alla base del sistema proposto passa dall'individuazione di una profonda modularità dettata dalle regole e dai vincoli costruttivi ed è suscettibile di diverse interpretazioni funzionali dando luogo, per via dell'aggregazione differenziata, ad una notevole flessibilità nell'insediamento. Le unità modulari che compongono l'insediamento si uniscono e si aggregano per formare i distinti tagli delle unità abitative secondo diverse configurazioni e specifiche regole compositive.
Grazie alla modularità del sistema, l'edificio adottato per il test si configura come la modellizzazione di un edificio residenziale a cinque piani diviso in quattro aree tematiche principali: bassa socialità, fragilità umana, alta socialità e studentato.
In particolare il blocco centrale è progettato per la vulnerabilità umana o per aspettative di socialità media, quindi per le popolazioni residenti di età compresa tra 70 e 80 anni, popolazione anziana che vive da sola, famiglie monoparentali, anziani o persone con difficoltà psicofisiche o con lievi deficit fisici. Su ogni piano è prevista una zona comune che al primo piano è costituita da una lavanderia comune, mentre sugli altri piani prevede servizi sanitari specifici. Al secondo livello l'area è pensata per i servizi di riabilitazione motoria e, al terzo piano, per ospitare un infermiere o un assistente sociale che fornisce un servizio di assistenza 24 ore o part-time.
Dal punto di vista della aggregazione tipologica, l'approccio progettuale si basa sulla ricerca di un modello di insediamento che aderisca alle abitudini abitative stabilite e che sia in grado di rappresentare la migliore sintesi tra tradizione e innovazione attraverso soluzioni che soddisfino le aspettative di un'ampia varietà di utenti, seguendo la logica in atto nella struttura demografica e compositiva delle famiglie (giovani coppie, famiglie numerose, padiglioni di residenza, studenti, single, disabili autosufficienti, anziani, famiglie monoparentali) e al loro distinto livello di socializzazione. Per questo motivo una delle questioni chiave è stata quella di individuare e configurare attraverso la flessibilità del sistema costruttivo aperto, tre diverse tipologie di aggregazione secondo un distinto livello di socializzazione (aspettative di bassa socialità, aspettative di socialità media, aspettative di alta socialità) o ai diversi tipi di vulnerabilità e servizi necessari.

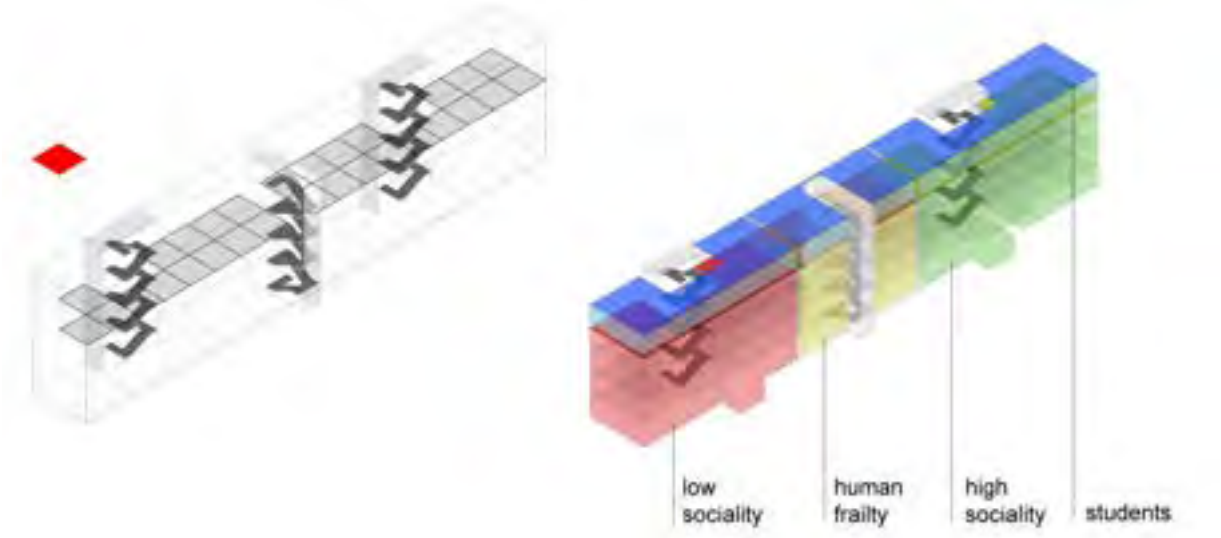


Figura 50- Modularità e aree tematiche del sistema costruttivo aperto. Le unità modulari si uniscono e si aggregano per formare le diverse dimensioni dell'alloggio, seguendo specifiche regole di composizione basate su diversi sistemi e moduli

L'housing sociale tradizionalmente mira a soddisfare la domanda di alloggi per coloro che, non accedendo al libero mercato, sono in grado di sostenere le tariffe agevolate dei prezzi di acquisto concordati per l'alloggio, sia su base pubblica che privata.
Pertanto, il settore dell'edilizia residenziale pubblica è indirizzato a coloro che appartengono a gruppi sociali svantaggiati, ed è finanziato con diversi contributi che possono essere interamente pubblici e non rimborsabili, altri basati su operazioni di libero mercato e prezzi di mercato, o ancora grazie a investimenti privati, pubblico-privato e speciali fondi immobiliari. Quest'ultima tipologia è destinata a tutti coloro che non trovano soddisfazione o non rispondono adeguatamente ai requisiti dei settori dell'edilizia pubblica né del libero mercato. Questo segmento, che in Italia si chiama *Edilizia Residenziale Sociale (ERS)*, rappresenta davvero parte del Social Housing, e potrebbe avvantaggiarsi del valore aggiunto che un Smart Social Building può offrire per sostenere la vulnerabilità su scala urbana. Dall'analisi condotta si ritiene che l'incidenza dei costi di installazione della sensoristica smart finalizzata al contenimento dei consumi energetici possa essere sensibilmente influenzata in modo positivo se attraverso la stessa sensoristica è possibile erogare una serie di prestazioni e servizi di carattere innovativo alle persone anziane o fragile, consentendo dunque un tempo di rientro nei costi di investimento più breve.

7 Conclusioni

Tutte le attività svolte sono state molto produttive perché hanno fatto crescere ed avvicinare i prodotti ad una forma industriale più matura e completa sia per quanto riguarda Sesto Senso che per i risultati ottenuti con i modelli messi a punto. Infatti, ad esempio, il modello realizzato per la disaggregazione energetica di frigorifero e lavatrice richiede maggiori dati in modo da addestrarlo sui dati delle case stesse. Inoltre si propone di provare diversi modelli addestrati su diverse situazioni reali in modo da decidere quale modello utilizzare sulle nuove case prese in considerazione in modo da scegliere correttamente il modello relativo all'abitazione con il comportamento energetico più simile.

Tutti i risultati sono oggi quindi più vicini all'applicazione in campo. A questa ottimizzazione si aggiunge anche un'altra utility quale quella della interpretazione acustica di un ambiente, dotazione importantissima per analisi ed elaborazioni volte a proporre applicazioni in svariati campi negli ambienti indoor come quelli dell'assisted living, della diagnostica, della automazione e della ottimizzazione dell'uso energetico negli ambienti indoor.
Gli utilizzatori hanno manifestato in vario modo interesse alle nuove tecnologie installate con entusiasmo, con proposte di miglioramento e con la proposizione di critiche sicuramente costruttive sulla base dell'esperienza diretta e vissuta di tecnologie *smart*. I dati emersi dall'indagine dell'intero campione sono utili sia agli Enti promotori di ulteriori studi in tale ambito di ricerca sia ai produttori di dispositivi di tecnologia *smart* ai fini di una maggiore diffusione di tale tecnologia e di un più efficace incoraggiamento di comportamenti sostenibili.
Lo studio di un classificatore di consumi idrici negli appartamenti sia ad uso residenziale che ad uso lavorativo ha prodotto una metodologia che può essere applicata anche ad altre realizzazioni.
Le valutazioni dell'Impatto della sensoristica del modello prototipale Smart Home sull'edilizia della residenza pubblica (E.R.P) hanno abbracciato nello studio i vari aspetti e studiato gli indicatori che evidenziano le peculiarità e le criticità del processo di strumentazione di case smart nell'edilizia pubblica. Si riportano inoltre eventuali raccomandazioni per possibili ulteriori sviluppi della ricerca.

8 Riferimenti bibliografici

1. 1.I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, Y. Bengio, Deep learning (Vol. 1), 2016, Cambridge: MIT press.
2. 2. R. Bonfigli, A. Felicetti, E. Principi, M. Fagiani, S. Squartini, F. Piazza, "Denoising autoencoders for Non-Intrusive Load Monitoring: Improvements and comparative evaluation", Energy and Buildings, 158, 2018, 1461-1474.
3. 2. M. Figueiredo, A. de Almeida, B. Ribeiro, "Home electrical signal disaggregation for non-intrusive load monitoring (NILM) systems", Neurocomputing, 96, 2012, 66-73.
4. 3. W. He, Y. Chai, "An Empirical Study on Energy Disaggregation via Deep Learning", Advances in Intelligent Systems Research, 133, 2016.
5. 4. J. Kelly, W. Knottenbelt, "The UK-DALE dataset, domestic appliance-level electricity demand and whole-house demand from five UK homes." Scientific data 2 (2015): 150007.
6. 5. J. Kelly, W. Knottenbelt "Neural nilm: Deep neural networks applied to energy disaggregation" In Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Built Environments (pp. 55-64). ACM.
7. 6. A. Sauhats, R. Varfolomejeva, O. Linkevics, R. Petrecenko, M. Kunickis, M. Balodis "Analysis and prediction of electricity consumption using smart meter data". In: Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), 2015 IEEE 5th International Conference on. IEEE, 2015. p. 17-22.
8. 7. C. Zhang, M. Zhong, Z. Wang, N. Goddard, C. Sutton "Sequence-to-point learning with neural networks for nonintrusive load monitoring, The Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-18), Febbraio 2018, New Orleans, AAAI, 1-8.
9. J.Van Hoof, H.S.M.Kort, P.G.S.Rutten, and M.S.H.Duijnstee, Ageing-in-place with the use of ambient intelligence technology: perspectives of older users. International journal of medical informatics, 80, 310-331, 2011.
10. R.B.Freidland and L.Summer, Demography is no destiny, revisited. New York: The Commonwealth Fund, 2005.
11. A. Tinker, L.Kellaher, J.Ginn and E.Ribe, Assisted Living Platform - The Long Term Care Revolution, Housing Learning & Improvement Network, 2013
12. J.L.Wiles, A.Leibing, N.Gubernman, J.Reeve and R.E.S. Allen, The meaning of "aging in place" to older people. The gerontologist, 58 (3), 357-366, 2012.
13. Rashidi, P. and Cook, D.J. 2009. "Keeping the resident in the loop: adapting the smart home to the user". IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, Vol. 39, No., 5, pp. 949-959.
14. Lindenberger, U. and Ghisletta, P., 2009. Cognitive and sensory declines in old age: gauging the evidence for a common cause. Psychology and aging, 24(1), p.1.
15. Celani, N.L., Ponce, S., Quintero, O.L. and Vargas-Bonilla, F., 2017. "Improving Quality of Life: Home Care for Chronically Ill and Elderly People". In Caregiving and Home Care. IntechOpen.
16. Nourizadeh, S., Deroussent, C., Song, Y.Q. and Thomesse, J.P., 2009, June. "Medical and home automation sensor networks for senior citizens telehomecare". In First International Workshop on Medical Applications Networking, IEEE International Conference on Communications-IEEE ICC MAN'2009 (pp. 1-5). IEEE
17. Majumder, S., Aghayi, E., Noferesti, M., Memarzadeh-Tehran, H., Mondal, T., Pang, Z. and Deen, M., 2017. "Smart homes for elderly healthcare—Recent advances and research challenges". *Sensors*, 17(11), p.2496.
18. Wong, J.K.W., Leung, J., Skitmore, M. and Buys, L., 2017. "Technical requirements of age-friendly smart home technologies in high-rise residential buildings: A system intelligence analytical approach", Automation in Construction, 73, pp.12-19.
19. Uddin, M., Khaksar, W. and Torresen, J., 2018." Ambient sensors for elderly care and independent living: a survey". *Sensors*, *18*(7), p.2027.
20. Miori, V. and Russo, D., 2017, June. "Improving life quality for the elderly through the Social Internet of Things (SIoT)". In *Global Internet of Things Summit (GIoTS), 2017* (pp. 1-6). IEEE.

21. Ceccacci, S. and Mengoni, M., 2017, June. “Designing Smart Home Interfaces: Traditional vs Virtual Prototyping”. In Proceedings of the 10th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments (pp. 67-74). ACM.
22. M. Blumendorf and S. Albayrak, Towards a Framework for the Development of Adaptive Multimodal User Interfaces for Ambient Assisted Living Environments. In UAHCI '09: Proceedings of the 5th International on ConferenceUniversal Access in Human-Computer Interaction. Part II. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 150-159.
23. A. Mihailidis and G.R. Fernie, Context-aware assistive devices for older adults with dementia. gerontechnology (2002); 2(2):173-188
24. A. Jaimes and N. Sebe, Multimodal human-computer interaction: A survey. Computer Vision and Image Understanding, 108(1-2), 116– 134
25. W. Chun-dong., M. Xiu-liang, and W. Huai-bin, An intelligent home middleware system based on context-awareness. 2009 Fifth International Conference on Natural Computation, 165-169
26. Nielsen, J., 1993. Usability Engineering. Academic Press, Boston, MA.
27. DIS, I., 2009. 9241-210: 2010. Ergonomics of human system interaction-Part 210: Human-centred design for interactive systems. International Standardization Organization (ISO), Switzerland.
28. Muñoz, C., Arellano, D., Perales, F.J. and Fontanet, G., 2006, August. “Perceptual and intelligent domotic system for disabled people”. In *Proceedings of the 6th IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing* (pp. 70-75).
29. Callejas, Z. and López-Cózar, R., 2009. “Designing smart home interfaces for the elderly”. *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing*, (95), pp.10-16.
30. Sternberg, Robert, “Cognitive Psychology” Third Edition, Thomson Wadsworth© 2003.
31. S. Oviatt, A. DeAngeli and K. Kuhn, Integration and synchronization of input modes during multimodal human-computer interaction, In Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems CHI‘97, 1997
32. Portet, F., Vacher, M., Golanski, C., Roux, C. and Meillon, B., 2013. “Design and evaluation of a smart home voice interface for the elderly: acceptability and objection aspects”. *Personal and Ubiquitous Computing*, *17*(1), pp.127-144
33. Lynette A. Jones - "HAPTICS", The MIT Press Essential Knowledge Series
34. Shull, P.B. and Damian, D.D., 2015. Haptic wearables as sensory replacement, sensory augmentation and trainer–a review. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12(1), p.59.
35. Kleinman, J.M. and Brodzinsky, D.M., 1978. Haptic exploration in young, middle-aged, and elderly adults. *Journal of Gerontology*, *33*(4), pp.521-527.
36. Yoon, H.U., Anil Kumar, N. and Hur, P., 2017. “Synergistic Effects on the Elderly People's Motor Control by Wearable Skin-Stretch Device Combined with Haptic Joystick”. *Frontiers in neurorobotics*, *11*, p.31.
37. Arduino MKR WIFI 1010 store.arduino.cc/arduino-mkr-wifi-1010
38. ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001883A.pdf
39. www.u-blox.com/sites/default/files/NINA-W10_DataSheet_%28UBX-17065507%29.pdf
40. ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005927A.pdf

9 Abbreviazioni ed acronimi

EB - Energy Box