



## ***SMART SCHOOL FOR HEALTHIER CLASSROOMS***

# **INDICE**

<b>PREMESSE</b>	<b>3</b>
<b>OBIETTIVI</b>	<b>4</b>
OBIETTIVI GENERALI	4
OBIETTIVI DIDATTICI	4
<b>RIFERIMENTI NORMATIVI</b>	<b>4</b>
<b>DESCRIZIONE DEL PROGETTO</b>	<b>5</b>
<b>WORK BREAKDOWN STRUCTURE (WBS)</b>	<b>7</b>
<b>ORGANIZATIONAL BREAKDOWN STRUCTURE</b>	<b>7</b>
<b>PIANIFICAZIONE DELLE ATTIVITA' DEL PROGETTO</b>	<b>8</b>
<b>RISULTATI ATTESI</b>	<b>9</b>
RISULTATI DIDATTICI	10
<b>CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI RILEVAZIONE</b>	<b>11</b>
<b>SCHEMI A BLOCCHI DEL SISTEMA SSHC</b>	<b>13</b>
<b>ARCHITETTURA DELLA RETE DI TRASMISSIONE DATI</b>	<b>16</b>
<b>SITO WEB</b>	<b>19</b>
<b>ARCHITETTURA HARDWARE</b>	<b>20</b>
<b>SCHEDA DATA LOGGER/CONTROLLER</b>	<b>20</b>
<b>MONITORAGGIO PARAMETRI AMBIENTALI</b>	<b>20</b>
<b>ARCHITETTURA SOFTWARE</b>	<b>27</b>
<b>COSTI</b>	<b>30</b>
<b>LISTA MATERIALI</b>	<b>30</b>

## PREMESSE

La qualità dell'aria è da sempre un tema fondamentale per tutti gli ambienti: interni ed esterni e per qualsiasi destinazione d'uso.

La Direttiva (UE) 2918/844 sull'efficienza energetica in edilizia, recepita in Italia con il D.Lgs. 48/2020, sancisce l'importanza della qualità dell'ambiente interno nei suoi diversi aspetti: comfort termico, acustico e visivo e qualità dell'aria interna, anche nota come **IAQ**, acronimo di **Indoor Air Quality**. In particolare, la emergenza sanitaria legata alla COVID-19 ha messo in evidenza la necessità garantire una buona qualità dell'aria interna, soprattutto negli ambienti ad uso pubblico, in particolare nelle scuole.

“L'inquinamento indoor si definisce come la modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica interna, dovuta alla presenza nella stessa di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria stessa e tali da costituire un pericolo ovvero un pregiudizio diretto o indiretto per la salute dell'uomo” (fonte: Direzione generale della prevenzione sanitaria).

A differenza dell'inquinamento dell'aria atmosferica esterna oggetto di grande attenzione già da molti anni solo recentemente si è affrontato il problema dell'inquinamento indoor e degli effetti sanitari legati a questo fenomeno.

Tra le patologie correlate agli edifici, le malattie allergiche respiratorie hanno un grande rilievo per il loro impatto sulla salute e la loro incidenza sta aumentando in tutta Europa. L'asma colpisce la popolazione adulta europea nella misura del 3-8%, mentre la prevalenza nella popolazione pediatrica è ancora maggiore” (fonte: Direzione generale della prevenzione sanitaria).

Negli ambienti chiusi l'ossigeno presente nell'aria diminuisce gradatamente e con la respirazione e la traspirazione umana sono immessi nell'aria componenti quali: vapore acqueo, anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e diverse sostanze organiche.

In assenza di adeguata ventilazione, la qualità dell'aria interna tende ad alterarsi, come conseguenza della presenza e dell'accumulo di sostanze inquinanti che ne alterano la salubrità.

Tipicamente l'aria “impura” indoor, spesso indicata con il termine “aria viziata”, si riconosce istintivamente con l'olfatto in quanto, a differenza dell'aria pulita, presenta un odore spesso sgradevole.

Secondo la norma ASHRAE 62-1, riconosciuta a livello internazionale, “La qualità dell'aria in un ambiente è considerata accettabile quando non sono presenti inquinanti in concentrazioni dannose, secondo quanto stabilito dalle autorità competenti, e quando una notevole quantità di persone (80% almeno) non esprime insoddisfazione”.

Uno degli elementi fondamentali da considerare quando si parla di **IAQ** è che la qualità dell'aria negli ambienti confinati è generalmente peggiore di quella dell'ambiente esterno, dal momento che negli ambienti interni vengono immessi gli inquinanti presenti nell'aria esterna, quando questa non viene opportunamente filtrata da sistemi ad hoc, ai quali si aggiungono gli inquinanti emessi dalle attività antropiche e dagli elementi di costruzione e di arredo, oltre che quelli prodotti a causa di una errata progettazione termotecnica degli edifici.

E' evidente che la soluzione ai problemi di **IAQ** consiste nella realizzazione di impianti di ventilazione che immettono aria esterna filtrata in quantità adeguata, secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 16798-1, così da diluire la concentrazione degli inquinanti. Va sottolineato che tutto ciò non è realizzabile con la semplice apertura delle finestre, che non garantisce né le portate richieste, né una adeguata diffusione dell'aria in ambiente, oltre a presentare problemi di discomfort termico per gli occupanti e uno spreco di energia termica.

In definitiva, il problema dell'**IAQ** si coniuga indissolubilmente con quello del comfort termico e con le esigenze di risparmio energetico. Fermandosi in Italia, un gruppo di ricerca coordinato dalla professoressa Francesca Romana d'Ambrosio, ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale presso l'Università degli Studi di Salerno, e di cui fa parte il prof. Giorgio Buonanno, ordinario di Fisica

Tecnica Ambientale presso l'Università di Cassino e del Basso Lazio, esperto internazionale della diffusione in aria dell'aerosol, il prof. Mauro Strada, già ordinario di Fisica Tecnica Ambientale presso lo IUAV e presidente di Steam, società di Ingegneria che opera a livello internazionale, l'ing. Michele Vio, tra i più noti progettisti italiani di impianti di condizionamento, ha condotto uno studio sulla valutazione del rischio di contagio da SARS-CoV-2 negli ambienti chiusi, anche in riferimento a quelli scolastici. Dai risultati che riguardano gli ambienti scolastici, è emerso con chiarezza che in un'aula senza impianto di ventilazione meccanica controllata, qualora sia presente un infetto, docente o allievo, quand'anche tutti gli occupanti indossassero una mascherina con un opportuno livello di filtrazione, per ottenere un numero di ricambi d'aria adeguato a ridurre il rischio di contagio sia individuale che collettivo sarebbe necessario tenere le finestre aperte per un tempo non compatibile con le condizioni di comfort termico, né con le prescrizioni sulla temperatura interna.

L'idea del progetto nasce da queste considerazioni e in particolare da esperienze dirette di scarsa salubrità dell'aria all'interno delle aule.

## **OBIETTIVI**

### **Obiettivi generali**

Il sistema ideato, attraverso la tecnologia *IoT*, consente un monitoraggio automatico e continuo dell'*AIQ* per rilevare la presenza di sostanze inquinanti in quantità e con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità e da richiedere l'attivazione di un adeguato sistema di ricambio d'aria.

### **Obiettivi didattici**

Saper lavorare in gruppo è una competenza fondamentale sempre più richiesta nei contesti sia formativi che professionali. La cooperazione, soprattutto in un sistema scolastico che ha sempre privilegiato la competizione e l'individualismo, diventa oggetto di insegnamento attraverso la proposta di esperienze che dimostrino concretamente ai ragazzi che impegnarsi insieme in attività complesse per raggiungere un obiettivo comune è un'esperienza gratificante e vantaggiosa per la crescita e l'apprendimento di ciascuno e, soprattutto, che le abilità sociali sono determinanti per il successo del lavoro del gruppo stesso.

L'obiettivo didattico cardine di questo progetto, oltre quelli di promuovere sintesi creativa, interdisciplinarietà, familiarizzare con le nuove tecnologie e discussione sull'impiego etico delle tecnologie, consiste proprio nello sviluppare le capacità di lavorare in gruppo. L'insegnante, in questo caso, riveste un ruolo di facilitatore ed organizzatore delle attività, operando in un "*ambiente di lavoro, approfondimento ed apprendimento*" in cui gli studenti trasformano le attività del progetto in un processo di "*problem solving di gruppo*", conseguendo obiettivi la cui realizzazione richiede necessariamente il contributo e l'impegno personale di tutti.

Tutto ciò è stato messo in atto realizzando un percorso di *project based learning*, fondato su un'azienda simulata a cui hanno partecipato ragazzi di classi ed indirizzi diversi (Informatica e Telecomunicazioni – Elettronica ed Elettrotecnica), che partendo dall'idea del sistema ideato procede percorrendo tutte le fasi di sviluppo professionale del progetto consistenti in *analisi delle specifiche, problem solving, individuazione della componentistica elettrica/elettronica, scelta dei sensori/attuatori, sviluppo del firmware, realizzazione del prototipo, debugging e troubleshooting*.

## **RIFERIMENTI NORMATIVI**

I principali riferimenti normativi sul tema della qualità dell'aria negli ambienti indoor sono:

- **UNI 10339:1995.** Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura;
- **UNI EN 16798-1:2019.** Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, illuminazione e all'acustica;
- **CEN/TR 16798-2:2019.** Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics;
- **UNI EN 16798-3:2018.** Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 3: Per gli edifici non residenziali - Requisiti prestazionali per i sistemi di ventilazione e di condizionamento degli ambienti

## DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto denominato **SSHC** acronimo di **Smart School for Healthier Classrooms**, si pone l'obiettivo di realizzare una soluzione a basso impatto architettonico basata su un'architettura **IoT** per misurare e gestire le condizioni di **IAQ** e può essere integrato con il nostro progetto **Energy Saving School**, già vincitore del concorso "**Costruiamo il futuro con STM32 Open Development Environment**", una cui sintesi è riportata in allegato.

Il progetto qui proposto prevede di integrare il sistema per la gestione e il controllo del livello di illuminamento delle aule scolastiche, funzionante e consolidato, con un sistema di sensori per il monitoraggio della concentrazione di CO2 e di altri due contaminanti che spesso sono presenti negli ambienti scolastici: i VOC e il particolato.

Il sistema è costituito da un data logger (di seguito chiamato D.L.) per ciascuna aula, equipaggiato con scheda WiFi NUCLEO-IDW01M1, è collegato, attraverso l'infrastruttura di rete dell'istituto, ad una centrale di controllo di edificio basata su un Netbook che funge da SERVER di data analysis e di configurazione dinamica dei data logger/controller.

Al D.L. sono collegate delle stazioni di rilevamento a soffitto distribuite nell'aula che consentono una rilevazione capillare dei parametri termoigrometrici e della concentrazione dei contaminanti nelle aree sottostanti in cui è stata suddivisa l'aula (il numero di stazioni di rilevamento dipende dalla geometria dell'aula).

E' previsto anche un sensore PIR per rilevare la presenza degli alunni nell'aula in modo da disattivare il sistema di rilevazione in caso in cui l'aula non sia occupata oltre a sensori magnetici per verificare lo stato delle finestre e delle porte.

Il sistema prevede una stazione di monitoraggio di alcuni parametri esterni quali:

- Temperatura
- Umidità
- Velocità del vento
- Pioggia
- Particolato

collegata al SERVER centrale che, ricorrendo ad un opportuno algoritmo, servirà per valutare la possibilità di areazione **parziale** delle aule con apertura delle finestre.

Il D.L. integra il controllo di un sistema di ventilazione dell'edificio a doppio flusso con recupero di calore (VMC) che provvede al ricambio dell'aria nell'aula limitando al minimo il dispendio energetico.

Quest'ultimo controllo è coordinato con il sistema di rilevazione outdoor centrale e, nel caso in cui i parametri esterni consentano il ricambio d'aria attraverso l'apertura delle finestre, valutato da un algoritmo di AI, il server invierà un frame ai data logger delle aule che provvederanno alla disattivazione del VMC e, attraverso opportuna segnalazione, avviseranno quando sarà necessario aprire le finestre.

In ogni aula è prevista una segnalazione della qualità dell'aria interna rilevata dai sensori attraverso un display o direttamente sul laptop d'aula su cui verranno visualizzati i vari valori e, nel caso di segnalazione da parte del server, verrà suggerita l'apertura delle finestre anche attraverso il blink di un avvisatore luminoso posizionato alle spalle della cattedra (eventualmente si può utilizzare un buzzer per una segnalazione acustica (ovviamente temporizzata).

E' prevista la realizzazione di un sistema Wearable di rilevamento del distanziamento sociale e funzionalità remote da far indossare agli alunni.

I D.L. (indoor e outdoor) comunicano con il server, come già detto in precedenza, attraverso l'infrastruttura di rete LAN/WAN della scuola ricorrendo ad un'architettura del tipo client server basata su socket TCP.

L'architettura software di comunicazione è caratterizzata da due software distinti (che lavorano su due diversi host) uno lato serve (PC) e l'altro lato client (schede data logger/controller). Il server si mette in attesa di una richiesta da servire, il client effettua tale richiesta.

Una volta stabilita la connessione, tramite un processo denominato "handshake a tre vie" il DL invierà i dati di rilevazione al Server.

I client comunicano con l'unico server, mentre il server comunica con tutti i client distribuiti sui diversi piani. La Socket Server viene creata solo quando una Socket Client vuole stabilire una connessione. Quindi i vari client, distribuiti ciascuno all'interno di una delle aule, chiederà, con una cadenza di circa 15 minuti (parametro configurabile da server), la connessione ad una Socket Server e, una volta stabilita, invierà i dati di rilevazione rimanendo in attesa di un acknowledge da parte del Server.

Il client può anche richiedere al Server di inviargli alcuni parametri di configurazione quali ad esempio data e ora per allineare il RTC, le soglie dei sensori o l'orario di start e stop del controllo. La connessione si chiude quando una delle due Socket viene chiusa. Nel caso i due host, dopo un certo intervallo di tempo, non si inviano reciprocamente pacchetti, le due Socket vengono sospese, il che identifica la chiusura di una sessione (e non di una connessione).

Tutte le informazioni riguardanti i parametri rilevati per ciascuna aula con data e ora della rilevazione, le attuazioni effettuate e le configurazioni di ciascun DL sono memorizzate sul Server all'interno di un Data Base Relazionale progettato ed implementato utilizzando i linguaggi PHP e SQL.

I messaggi inviati da server e client e viceversa sono strutturati secondo un protocollo logico appositamente progettato.

Nel caso di crash della connessione i singoli DL salveranno i frame non inviati al server su una scheda SD di cui ciascuno è dotato.

Al ripristino della comunicazione provvederanno ad inviare al server le informazioni memorizzate durante il «black out».

Il progetto prevede:

- la realizzazione di una pagina web in tecnologie responsive (quindi fruibile sia da computer che da tablet e cellulari) che indichi in tempo reale lo i parametri ambientali delle singole aule.
- Una dashboard web per l'Amministrazione che consenta la configurazione dei singoli D.L., la visualizzazione di dati statistici, la visualizzazione dello stato dei sensori.

Il sistema è composto principalmente da sei elementi funzionali:

- risorse Cloud per le attività di data analysis;
- un server locale (di seguito indicato con C.C.) per la comunicazione con i D.L., la gestione Relazione ne del Data Base contenente i parametri ambientali rilevati con corrispondente orario di rilevazione ed ID di aula, e i parametri di configurazione dei D.L. delle singole aule

- una serie di DataLogger (di seguito indicata con D.L.) per ciascuna aula;
- un'opportuna sensoristica per la rilevazione dei parametri ambientali indoor e outdoor
- una rete di trasmissione;

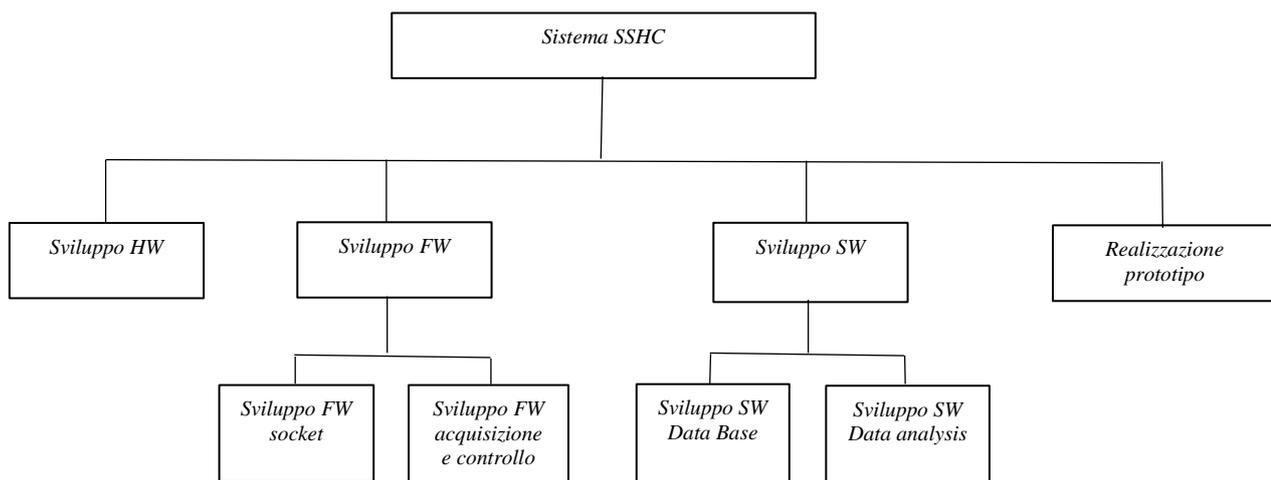
La C.C. è l'elemento "intelligente" identificato da un server che ha il compito di gestire le azioni tra i dispositivi e le interfacce ed è associato, attraverso l'infrastruttura di rete LAN/WAN scolastica ad una serie di D.L. da cui riceve i dati relativi all'IAQ d'aula e di informazioni sullo stato del sistema di rilevazione.

## WORK BREAKDOWN STRUCTURE (WBS)

Per definire l'ambito di un progetto, il metodo più efficace è identificarne le modalità di produzione dei deliverables tramite la creazione di una struttura analitica denominata Work Breakdown Structure (WBS di progetto).

La WBS di progetto è una rappresentazione gerarchica "ad albero" che rappresenta graficamente la scomposizione del lavoro da svolgere per costruire appunto i deliverables di progetto. In tal senso è un documento molto importante perchè ha come obiettivo il concordare/formalizzare ciò che è dentro l'ambito del progetto e ciò che ne resterà fuori. Ciò comporta almeno tre ordini di vantaggi:

- consente di verificare con la committenza interna/esterna gli obiettivi ed i prodotti di progetto;
- a fronte di un eventuale disallineamento si favorisce l'emergere di richieste di integrazione e di modifica in un momento in cui è più facile quotarle e l'impatto della modifica è ancora limitato essendo la WBS prodotta in fase di pianificazione;
- una struttura di scomposizione del lavoro orientata ai deliverables aumenta le possibilità di controllo in quanto sarà possibile non solo controllare le attività in base ai tempi e costi sostenuti ma anche in base alla percentuale di completamento del/dei deliverable associati a ciascuna attività.
- Il Project Manager, nel suo interesse, deve quindi essere in grado di realizzare una WBS di progetto con attenzione e precisione, analizzandone tutti gli elementi, senza tralasciarne alcuno in modo che eventuali errori o mancanze non finiscano poi per ribaltarsi in una più onerosa gestione di issues e modifiche in fase di realizzazione.



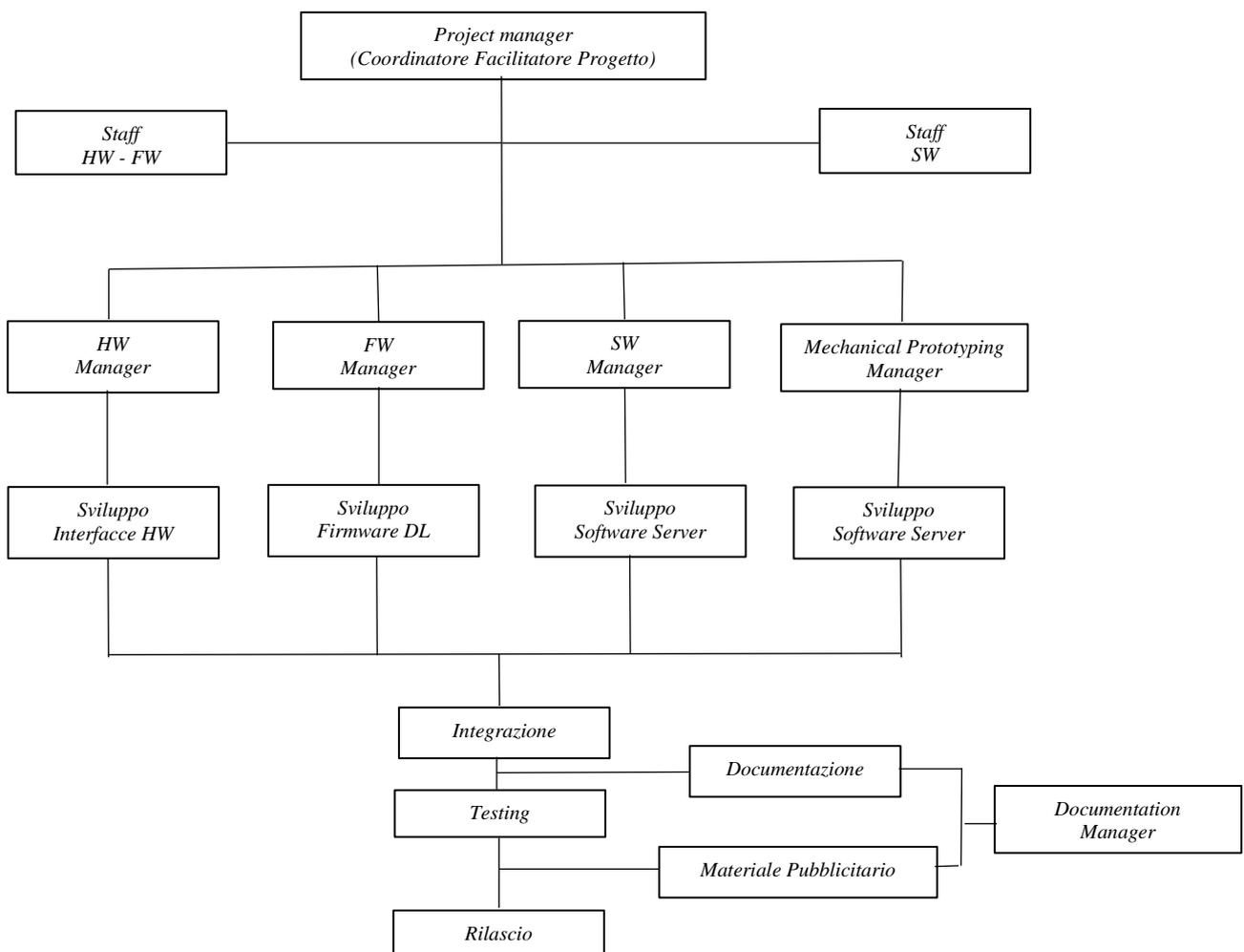
## ORGANIZATIONAL BREAKDOWN STRUCTURE

In questa sezione si formalizzano le linee di riporto tra i componenti del *project team* che nasce da una attenta analisi delle attività del progetto.

La OBS è particolarmente utile all'interno del progetto in quanto chiarisce i livelli di coordinamento, i punti di controllo organizzativi e l'ambito di autonomia dei ruoli coinvolti.

La creazione della OBS è importante per:

- ufficializzare le risorse coinvolte nel progetto;
- per chiarire le modalità di riporto tra i ruoli coinvolti;
- per comprendere il livello di integrazione tra ruoli;
- per facilitare il ruolo del Project Manager per quanto riguarda le attività di monitoraggio e controllo;



## PIANIFICAZIONE DELLE ATTIVITA' DEL PROGETTO

Di seguito vengono riportate le varie fasi di sviluppo del progetto corredato da un diagramma di Gantt che ne definisce le tempistiche

- *analisi fattibilità;*

- *definizione delle specifiche;*
- *Individuazione della sensoristica e degli attuatori da utilizzare;*
- *Definizione del protocollo di trasmissione;*
- *Progettazione e Sviluppo Firmware D.L.;*
- *Progettazione e Sviluppo Firmware connessione lato Data Logger;*
- *Progettazione e Sviluppo Software connessione lato C.C.;*
- *Progettazione e sviluppo Data Base;*
- *Progettazione e Sviluppo interfacce Hardware per i sensori;*
- *Integrazione;*
- *debugging del sistema;*
- *Test funzionale;*

Una volta definite le fasi del progetto, sono stati calendarizzati due *briefing* (intesi come momento di pianificazione, approfondimento e condivisione) settimanali di circa due ore in cui il *Team* si riunisce per fare il punto della situazione, confrontarsi su eventuali problematiche sorte durante lo sviluppo del progetto e definire eventuali aggiustamenti in corso d'opera.

**Fig. 1: PIANIFICAZIONE DELLE ATTIVITA' DEL PROGETTO**



## RISULTATI ATTESI

Indichiamo, nel seguito, i principali risultati attesi per ogni fase. Tali risultati sono volutamente molto specifici in modo da poter essere verificati, e costituiranno, quindi, lo strumento primario per la valutazione dell'avvenuto raggiungimento degli obiettivi del progetto.

- *Studio di fattibilità:*
  - *in questa fase effettuerà una valutazione dei segmenti di mercato interessati al prodotto, delle caratteristiche, dei costi e dei possibili risultati sulla base di una preliminare idea di massima.*

- *definizione delle specifiche:*
  - *partendo dai bisogni del cliente/utente si definisce ciò che deve fare il sistema;*
- *Individuazione della sensoristica e degli attuatori da utilizzare:*
  - *Partendo dalle specifiche si individueranno i sensori e gli attuatori e le loro caratteristiche tecniche.*
- *Definizione del protocollo di trasmissione:*
  - *Partendo dall'architettura di rete definita in fase di analisi delle specifiche si definiranno i protocolli logici da sviluppare per la trasmissione delle informazioni tra gli elementi cardine del progetto;*
- *Progettazione e Sviluppo Firmware D.L.:*
  - *Realizzazione del firmware per l'acquisizione ed il condizionamento dei segnali;*
- *Progettazione e Sviluppo Firmware di connessione lato Data Logger:*
- *Progettazione e sviluppo Data Base*
  - *realizzazione del database per la gestione delle informazioni sul livello di IAQ delle singole aule e dei parametri di configurazione dei D.L.;*
- *Progettazione e Sviluppo interfacce Hardware per sensori ed attuatori:*
  - *Realizzazione delle circuiterie di interfaccia necessarie per il collegamento dei sensori e degli attuatori al D.L.;*
- *Integrazione;*
- *Debugging del sistema;*
- *Test funzionale.*

Il successo del progetto potrà essere misurato in termini del raggiungimento dei risultati attesi elencati.

### **Risultati didattici**

- comprendere le funzioni che svolgono i componenti scelti per la realizzazione del sistema;
- conoscere le caratteristiche dei sensori scelti per l'acquisizione dei dati.
- legami disciplinari, concettuali e operativi, tra Meccanica, Fisica, Informatica e Elettronica;
- saper organizzare i dati di un problema da risolvere mediante schemi o grafici e tradurre gli algoritmi con linguaggi di programmazione;
- saper individuare problematiche hardware e software in caso di funzionamento non corretto del sistema (*strategie problem solving e troubleshooting*);
- capacità di collaborazione e di lavoro in gruppo.

## CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI RILEVAZIONE

La predisposizione dei blocchi di sensori (di seguito indicati con BL) viene organizzata su tre gruppi ciascuno disposto nella direzione longitudinale dell'aula secondo tre file parallele in modo da permettere un campionamento accurato dei parametri ambientali

In Figura 1 e 2 si riporta la pianta dell'aula campione con indicate le posizioni dei BL.

Il sistema è costituito da un data logger realizzato su piattaforma STM32 della STMicroelectronics dotato di un adeguato numero di BL a soffitto, in funzione della geometria dell'ambiente, e dei sensori di presenza (PIR) che consentono di rilevare con accuratezza la presenza di persone nell'aula indipendentemente dalla sua geometria e di effettuare automaticamente lo spegnimento dell'impianto nel caso l'aula risultasse vuota.

Ciascun data logger/controller di aula, equipaggiato con scheda WiFi, è collegato, attraverso l'A.P. di piano e l'infrastruttura di rete wired della scuola, ad una centrale di edificio, ubicata in corrispondenza del quadro elettrico generale dell'impianto, costituita da un PC\_server, che riceve le informazioni e ne effettua le elaborazioni previste.

Di seguito si riportano le informazioni inviate al PC:

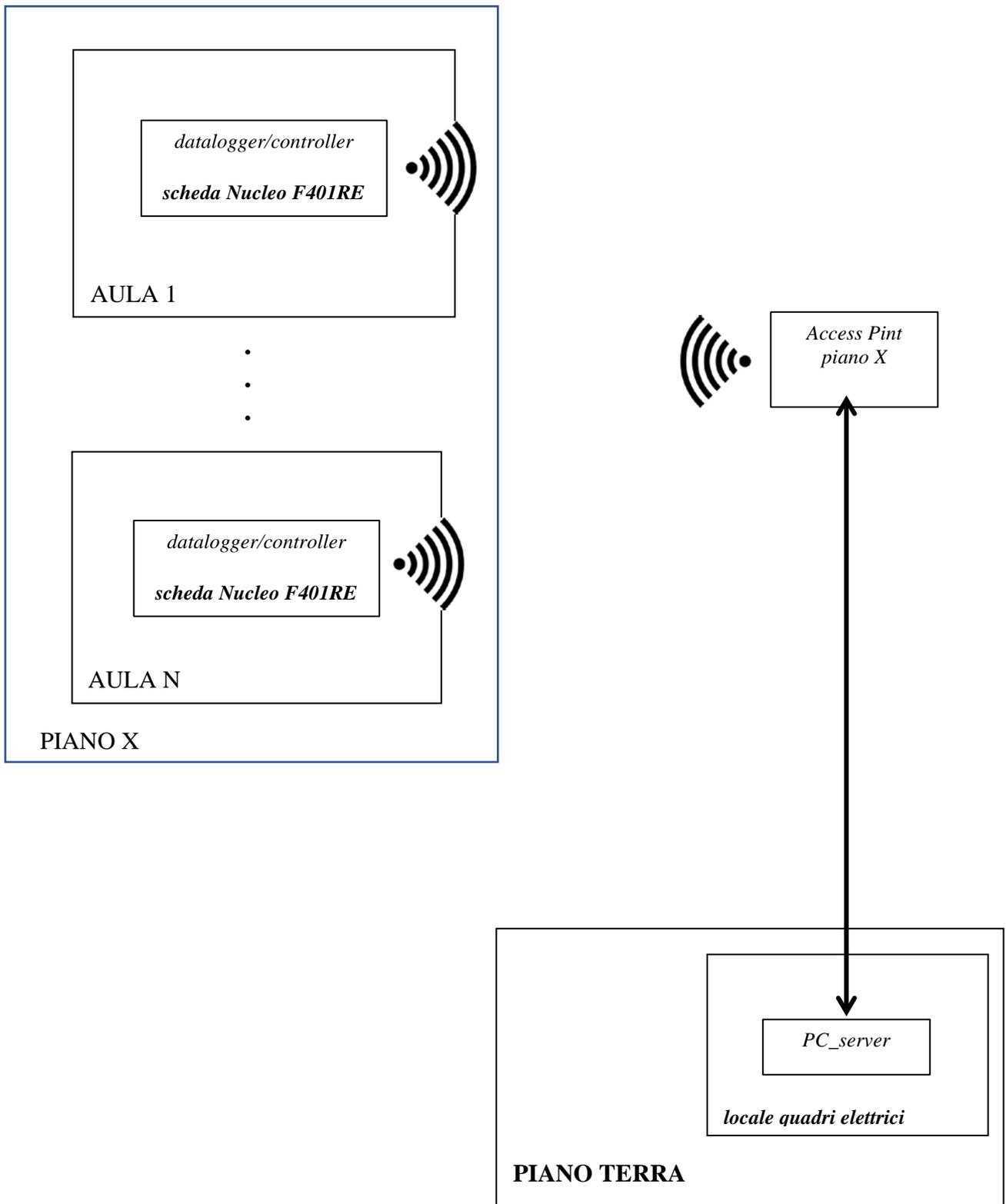
- *ID\_AULA*                      *identificativo del data logger/controller (piano-aula)*
- *COM*                              *codice comando*
- *TEMP*                            *temperatura*
- *UMID*                            *umidità*
- *CO2value*                      *valore misurato di CO<sub>2</sub> nell'aula*
- *PM10\_value*                  *valore particolato*
- *VOC\_value*                    *valore VOC*
- *AMP*                            *corrente assorbita dall'impianto di areazione*
- *M/A*                            *modalità manuale o automatica*
- *PRES*                            *presenza in aula*
- *S\_PRES*                        *soglia sensori presenza*
- *S\_CO2*                         *soglia di intervento accensione VMC*
- *h\_r*                              *ora di rilevazione*
- *m\_r*                              *minuti di rilevazione*
- *s\_r*                               *secondi di rilevazione*
- *gg*                               *giorno di rilevazione*
- *mm*                              *mese di rilevazione*
- *aa*                               *anno di rilevazione*
- *VMC\_ON\_h*                    *ora attivazione VMC*
- *VMC\_OFF\_h*                  *ora di spegnimento VMC*
- *TIM\_I\_h*                       *ora inizio rilevazione e controllo*
- *TIM\_F\_h*                       *ora fine rilevazione e controllo*

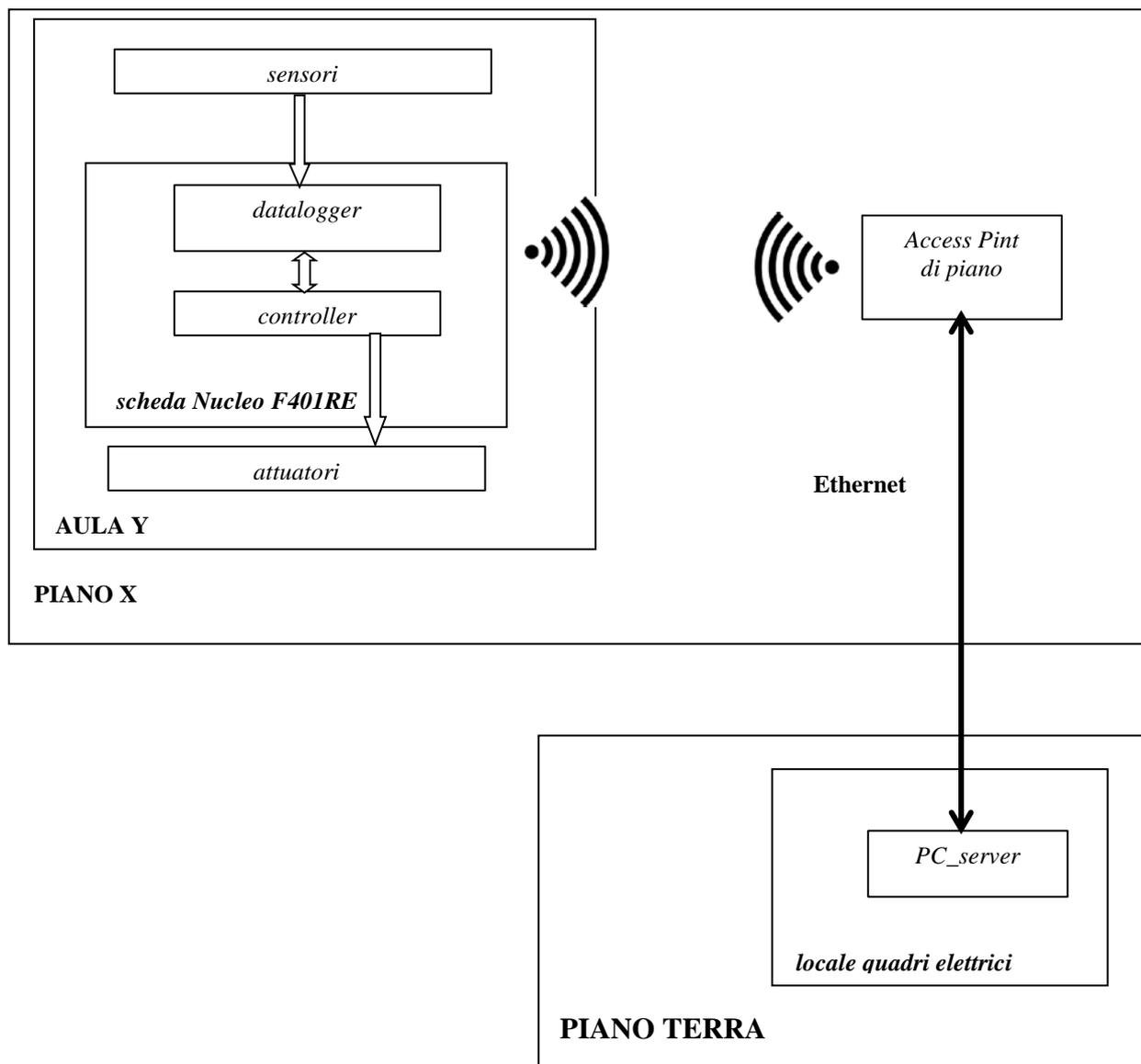
Di seguito si riportano i dati di configurazione inviati dal PC al data logger/controller:

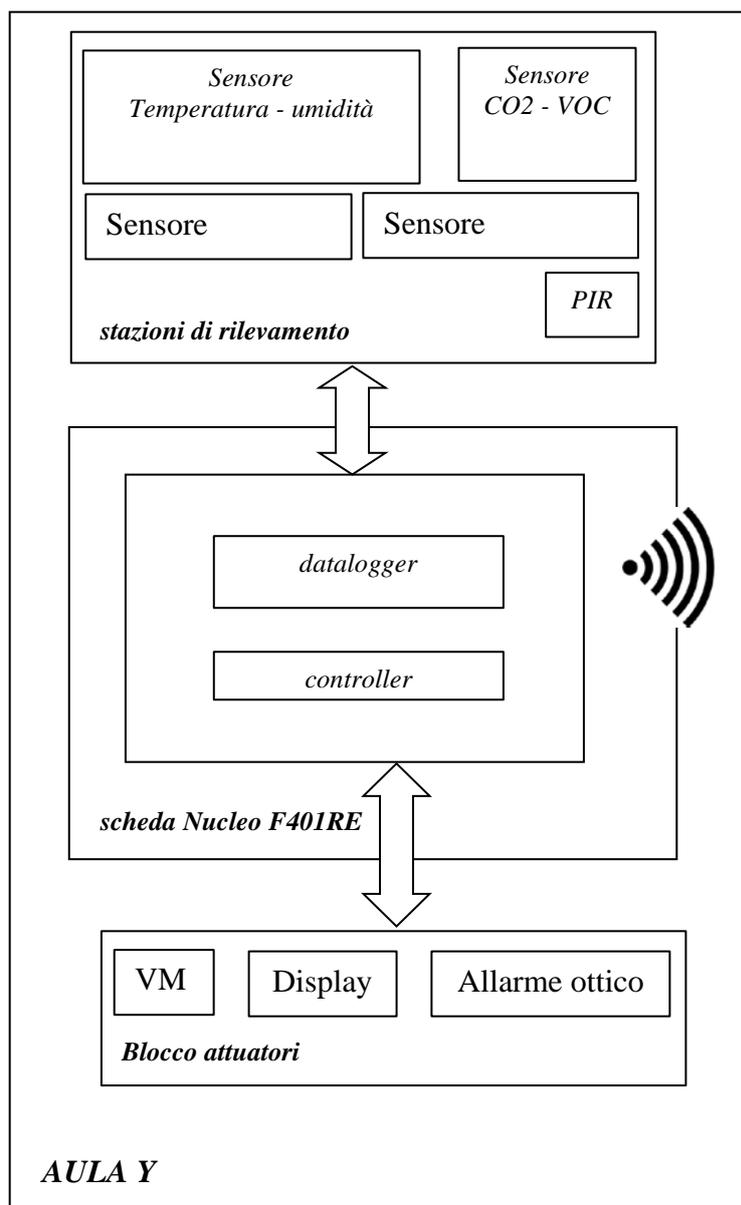
- *ID\_AULA*                      *identificativo del data logger/controller (piano-aula)*
- *M/A*                            *modalità manuale o automatica*
- *gg*                               *giorno per configurazione RTC*
- *mm*                              *mese per configurazione RTC*
- *aa*                               *anno per configurazione RTC*
- *h*                                 *ora per configurazione RTC*

- *m* *mese per configurazione RTC*
- *s* *secondi per configurazione RTC*
- *S\_PRES* *impostazione soglia PIR (non implementato)*
- *S\_CO2* *impostazione soglia sensori CO2*
- *TIM\_I\_h* *impostazione ora inizio rilevazione e controllo*
- *TIM\_F\_h* *impostazione ora fine rilevazione e controllo*

## SCHEMI A BLOCCHI DEL SISTEMA SSHC







## ARCHITETTURA DELLA RETE DI TRASMISSIONE DATI

L'architettura utilizzata come già detto in precedenza sfrutta l'infrastruttura di rete della scuola ed è pertanto del tipo client server basata su socket TCP.

Il TCP permette la trasmissione delle informazioni in entrambe le direzioni. I sistemi informatici che comunicano tramite TCP possono pertanto inviare e ricevere dati contemporaneamente, proprio come avviene durante una conversazione telefonica. Le unità di trasmissione fondamentali utilizzate dal protocollo sono i segmenti (pacchetti) che, oltre al carico utile (ossia il messaggio effettivo), possono contenere anche informazioni di controllo e sono limitati a una dimensione di 1.500 byte. L'instaurazione e l'interruzione delle connessioni, classificabili come connessioni punto-a-punto, nonché la trasmissione stessa dei dati vengono acquisite dal software TCP nella pila di protocolli di rete del rispettivo sistema operativo.

Il software TCP viene controllato dalle varie applicazioni rete, come browser web o server, attraverso interfacce specifiche, laddove ciascuna connessione deve essere sempre identificata da due punti terminali chiaramente definiti (client e server). A questo riguardo, non ha alcuna rilevanza quale lato assuma il ruolo di client e di server – l'importante è che il software TCP abbia a disposizione per ciascun punto terminale una coppia ordinata e univoca formata da indirizzo IP e porta.

Quindi è caratterizzata da due software distinti (che lavorano su due diversi host) uno lato serve (PC) e l'altro lato client (schede data logger/controller). Il server si mette in attesa di una richiesta da servire, il client effettua tale richiesta. I client comunicano con l'unico server, mentre il server comunica con tutti i client distribuiti sui diversi piani.

Nel seguito faremo riferimento al termine IP nel senso di IPv4.

L'handshake a tre vie: come funziona in dettaglio l'instaurazione della connessione TCP

I presupposti per instaurare una connessione TCP valida sono i seguenti: entrambi i punti terminali devono disporre già di un indirizzo IP univoco (IPv4) e avere dichiarato e abilitato la porta desiderata per la trasmissione dei dati. Mentre il primo funge da caratteristica identificativa, la seconda è rilevante per l'assegnazione delle connessioni alle applicazioni client e server concrete da parte del sistema operativo.

Poiché l'instaurazione della connessione tramite il Transmission Control Protocol prevede in totale tre passaggi, per questo processo è entrata in uso la denominazione “**handshake a tre vie**”.

Ancora prima che vengano trasferiti i primi dati, generalmente il mittente e il destinatario si accordano riguardo alla **dimensione massima dei segmenti TCP da inviare** (Maximum Segment Size – MSS). Di norma sono possibili fino a 1500 byte per segmento; di questi, almeno 20 byte devono essere previsti per l'header TCP e altri 20 byte per l'header IP, in modo tale che rimangano **1.460 byte**. Se si desidera una dimensione personalizzata, questa deve essere specificata (come indicato sopra) tramite il campo delle opzioni, eseguendo le dovute sottrazioni per la parte del carico utile.

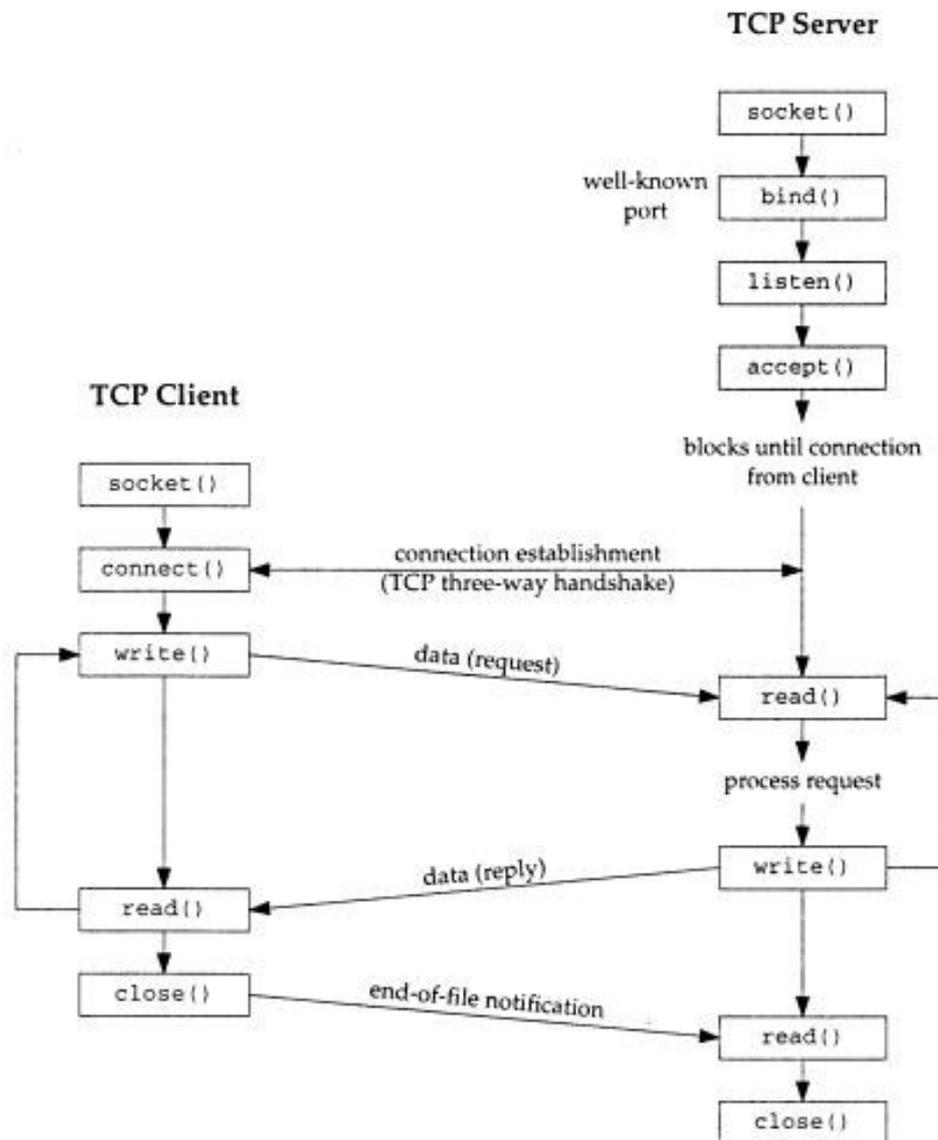
Le caratteristiche principali del TCP possono essere riassunte come segue:

- Il TCP è orientato alla connessione e permette una comunicazione alternata tra due punti terminali in base al cosiddetto handshake a tre vie.
- Il TCP è affidabile, in quanto assicura che tutti i dati vengono trasmessi in modo completo e possano essere ricomposti dal destinatario nell'ordine corretto.

- Il TCP prevede l'invio dei dati in singoli segmenti che possono avere una dimensione massima di 1.500 bytes (compreso header).
  - Nel modello OSI, il TCP viene classificato al livello di trasporto (layer 4).
  - Nella maggior parte dei casi, il TCP si basa sul protocollo Internet (IP), pertanto spesso si parla anche di pila di protocolli TCP/IP.
  - L'header TCP ha una dimensione standard di 20 byte – a cui possono aggiungersi fino a 40 byte di opzioni aggiuntive.
- 
- **Fig. 2: Header TCP**

TCP Header				
Bits	0-15		16-31	
0	Source port		Destination port	
32	Sequence number			
64	Acknowledgment number			
96	Offset	Reserved	Flags	Window size
128	Checksum		Urgent pointer	
160	Options			

Fig. 3: connessione socket Server/client



Un socket è un canale di comunicazione asimmetrico che consiste in una connessione tra il proprio programma e la rete IP esterna. Tramite i socket due o più programmi (scritti in un qualsiasi linguaggio) possono scambiarsi dei dati senza necessità di sapere cosa ci sia al di là dei socket stessi. I programmi infatti possono essere in esecuzione sullo stesso computer, su computer diversi di una rete LAN locale, oppure su computer geograficamente distanti collegati tramite internet. I computer possono anche avere sistemi operativi differenti, o utilizzare tipologie di LAN differenti (ad esempio uno ethernet e l'altro token ring), ma tutti questi dettagli sono "nascosti" alle applicazioni, che non devono fare altro che trasmettere o ricevere dati attraverso il socket.

Più precisamente i socket sono l'interfaccia di livello più basso tra il proprio programma e i protocolli (TCP e UDP) del livello di trasporto dati della rete IP. In sostanza tramite i socket consegnano un messaggio ai protocolli di trasporto che, veicolati e instradati dall'IP sottostante, lo recapitano a destinazione.

Nel caso di specie il client spedisce una richiesta al server, questo risponde trasmettendo alcuni dati. Questa trasmissione bidirezionale continua fino a che uno dei due (il client nell'esempio) decide di interrompere la connessione, e tramite la close chiude la connessione. Infine il server chiude a sua volta la connessione e si pone di nuovo in listen.

Le richieste del cliente sono di due tipi:

- invio dati rilevati dal data logger
- richiesta di configurazione

Dallo schema di figura si può notare che la Socket Server viene creata solo quando una Socket Client vuole stabilire una connessione. Quindi ciascuno dei vari client distribuiti all'interno delle aule chiederà, con una cadenza di circa 20 minuti, la connessione ad una Socket Server e, una volta stabilita, invierà i dati di rilevazione e alcuni parametri di configurazione rimanendo in attesa di un acknowledge da parte del Server.

Il client può anche richiedere al Server di inviargli alcuni parametri di configurazione quali ad esempio data e ora per allineare il *RTC*, le soglie dei sensori o l'orario di start e stop del controllo. La connessione si chiude quando una delle due Socket viene chiusa. Nel caso i due host, dopo un certo intervallo di tempo, non si inviano reciprocamente pacchetti, le due Socket vengono sospese, il che identifica la chiusura di una sessione (e non di una connessione).

I messaggi inviati da server e client e viceversa sono strutturati secondo un protocollo appositamente progettato e riportato.

## SITO WEB

*SMART SCHOOL HEALTHIER CLASSROOMS* è un sito web responsive (HTML5 e CSS3) sviluppato in modo da:

1. Consentire all'Amministratore di rete dell'Istituto di configurare i singoli Data Logger di classe ed outdoor (secondo le specifiche di aula e d'Istituto) e di effettuare operazioni di data Analisys sui parametri inviati dal server locale
2. Consentire ai tecnici della ditta installatrice dell'impianto di mantenerlo da remoto.

## ARCHITETTURA HARDWARE

Il sistema è composto dai seguenti elementi funzionali:

### SCHEMA DATA LOGGER/CONTROLLER

Il cuore del sistema di acquisizione e condizionamento di segnali è costituito da una scheda STMicroelectronic NUCLEO F 401RE.

#### caratteristiche

- *STM32F401RET6 in LQFP64 package*
- *ARM®32-bit Cortex®-M4 CPU with FPU*
- *84 MHz max CPU frequency*
- *VDD from 1.7 V to 3.6 V*
- *512 KB Flash*
- *96 KB SRAM*
- *GPIO (50) with external interrupt capability*
- *12-bit ADC with 16 channels*
- *RTC*
- *Advanced-control Timer*
- *General Purpose Timers (7)*
- *Watchdog Timers (2)*
- *USART/UART (4)*
- *I2C (3)*
- *SPI (3)*
- *SDIO*
- *USB 2.0 OTG FS*

Una porta SPI è impiegata per il collegamento con il modulo Wi-Fi.

### MONITORAGGIO PARAMETRI AMBIENTALI (SENSORI/ATTUATORI)

Si riporta di seguito l'elenco dei sensori INTERNI

N°	SENSORE	TIPO
1	Finestre	Trans. Effetto Hall/REED RELAY
2	CO <sub>2</sub>	ADAFRUIT CCS811
3	PM <sub>10</sub>	PPD42NS
4	VCO	ADAFRUIT CCS811
5	Sensore T/H	DHT_11
6	Presenza (PIR)	PIR HC-SR501
7	Assorbimento Corrente Quadro Elettrico	integrato ACS712 30 A
8	Anemometro x vmc	

Si riporta di seguito l'elenco dei sensori ESTERNI

N°	SENSORE	TIPO
1	PIOGGIA	FC-37

2	<i>PM10</i>	PPD42NS
3	Sensore T/H	DHT_11
4	ANEMOMETRO A PALE	

Si riporta di seguito l'elenco degli attuatori

<b>N°</b>	<b>ATTUATORE</b>	<b>TIPO</b>
1	RELAY VMC	MODULO RELÈ 2 CANALI DC 5V
2	<i>LUCE ALLARME CO2</i>	LED
3	DISPLAY	DISPLAY

## SENSORI DI PRESENZA

Il sensore utilizzato è il sensore PIR HC-SR501. Questo modulo è un sensore a infrarossi in grado di fornire un segnale alto a 3.3V quando rileva un corpo caldo. Il modulo comprende un sensore passivo piroelettrico (PIR), e un integrato BISS0001 per l'interfaccia, l'alimentazione è regolata al valore di 3.3V tramite apposito regolatore (IC1), ed è presente un diodo (D1) a protezione dell'inversione di polarità.

Sulla scheda del sensore HC-SR501 sono presenti due trimmer, uno regola la sensibilità e l'altro tempi di uscita.

Per quanto riguarda la sensibilità (distanza del max di rilevamento) ruotando in senso orario aumenta, mentre in senso antiorario diminuisce (intervallo compreso tra 3 e 7 m). Per i tempi di uscita, in senso orario => lungo, antiorario => corto (intervallo compreso tra 3-300 sec) Sul connettore d'uscita, abbiamo il pin di alimentazione Vcc (+ 5-20V), quello centrale è il pin d'uscita del segnale digitale (0 - 3.3 V), mentre l'ultimo rappresenta il terminale di massa.

### Caratteristiche del sensore

- *Tensione di alimentazione: da 4,5Vdc a 20Vdc*
- *Tensione di uscita: 0 - 3.3V*
- *Corrente di uscita: 10mA*
- *Angolo di visione: <140°*
- *Distanza di rilevamento: da 3 a 7 mt*

Il sensore di movimento PIR HC-SR501 è uno dei più facili da collegarsi ad un Arduino o a qualsiasi altro microcontrollore, tra l'altro può essere utilizzato anche come un rilevatore di movimento autonomo.

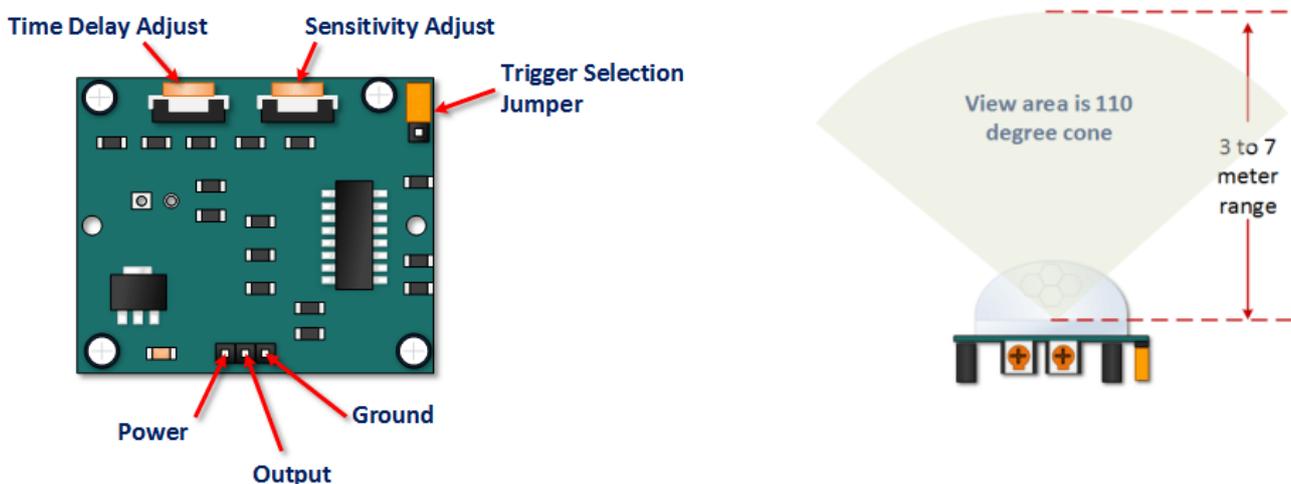
La scheda prevede un jumper che determina la logica del segnale di output.

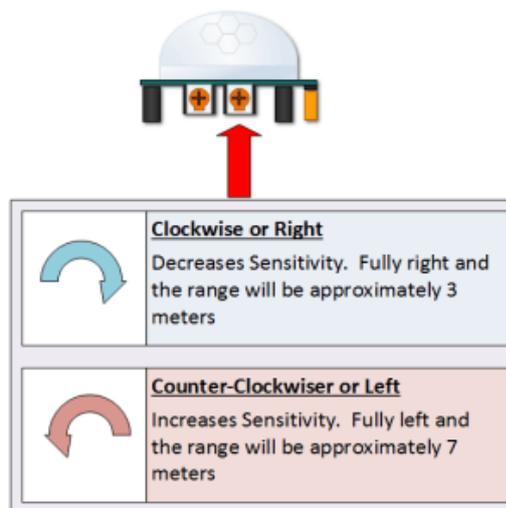
In particolare nella posizione riportata in figura il segnale rimane alto per tutta la durata di rilevamento di una presenza.

Nell'altra posizione viene impostato in modalità auto-reset che consiste nel ottenere un segnale di presenza impulso con tempo di livello alto prestabilito.

Per maggior dettagli si rimanda al datasheet.

*Fig. 4: PIR HC-SR501*





## SENSORE DI TEMPERATURA ED UMIDITÀ

Il sensore DHT11 è un sensore di temperatura e umidità con uscita dei dati in formato digitale. Il sensore utilizza una tecnica digitale esclusiva che unita alla tecnologia di rilevamento dell'umidità, ne garantisce l'affidabilità e la stabilità.

I suoi elementi sensibili sono connessi con un processore 8-bit single-chip.

Ogni sensore di questo modello è compensato in temperatura e calibrato in un'apposita camera di calibrazione che determina in modo preciso il valore di calibrazione il cui coefficiente viene salvato all'interno della memoria OTP.

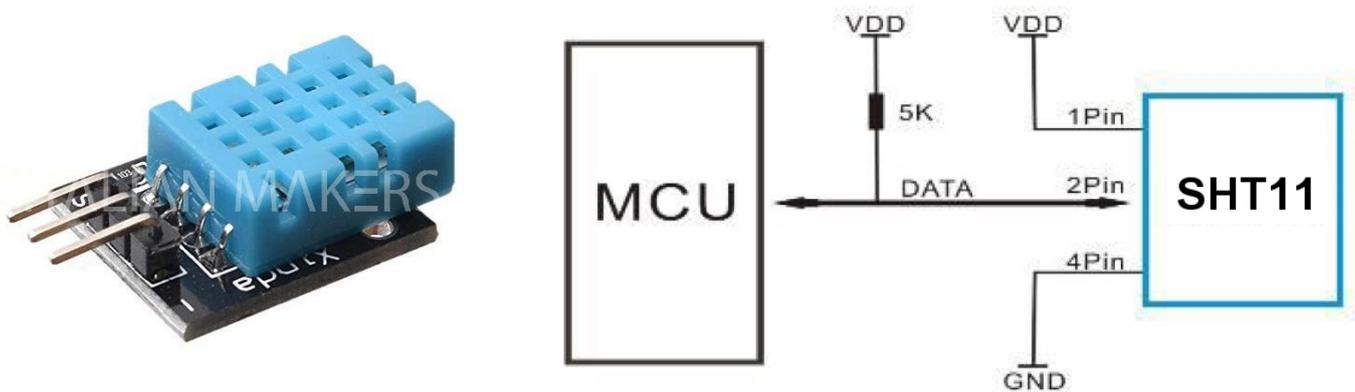
Le sue piccole dimensioni e suo basso consumo unite alla lunga distanza di trasmissione (20 m) permettono al sensore DHT11 di essere adatto per molti tipi di applicazioni. Il package con quattro pin in linea ne rendono facile la connessione.

### Caratteristica e applicazione:

- *Gamma completa di temperatura compensata*
- *Umidità relativa e temperatura*
- *Segnale digitale calibrato*
- *Eccezionale stabilità a lungo termine*
- *Componenti aggiuntivi non necessari*
- *Distanza di trasmissione lunga*
- *Basso assorbimento*
- *Contenitore con 4 pin*

Per maggiori dettagli si rimanda al datasheet allegato (all. 3).

Fig. 5: collegamento sensore DHT11 con NUCLEO F401RE



### SENSORE QUALITA' ARIA: ADAFRUIT CCS811 AIR QUALITY SENSOR BREAKOUT - VOC AND ECO2

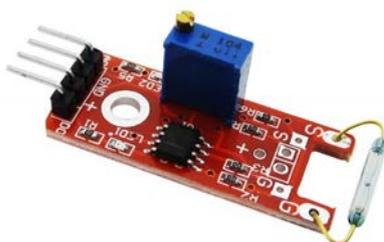
Questo sensore di AMS è un sensore di gas in grado di rilevare un'ampia gamma di composti organici volatili (COV) ed è destinato al monitoraggio della qualità dell'aria interna. Quando è collegato al microcontrollore (che esegue il codice della nostra libreria) restituirà una lettura del composto organico volatile totale (TVOC) e una lettura di anidride carbonica equivalente (eCO<sub>2</sub>) su I2C.



Il CCS811 ha un pin di interrupt configurabile che può attivarsi quando una conversione è pronta e / o quando una lettura supera una soglia impostabile dall'utente. Il CCS811 supporta più modalità di guida per eseguire una misurazione ogni 1 secondo, ogni 10 secondi, ogni 60 secondi o ogni 250 millisecondi.

Per tua comodità, abbiamo scelto e posizionato il sensore su un PCB con un regolatore da 3,3 V e alcuni cambi di livello in modo che possa essere facilmente utilizzato con il tuo microcontrollore preferito da 3,3 V o 5 V.

### SENSORI MAGNETICI



## ANEMOMETRO (SENSORE VELOCITA' VENTO)

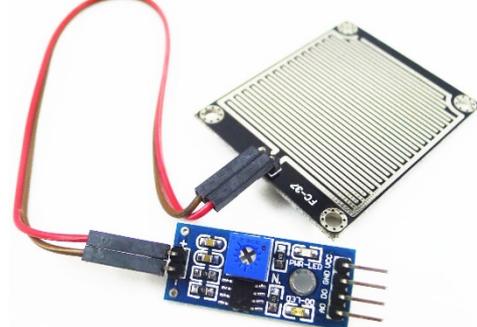
Sensore con braccio snodabile a 3 pale in grado di rilevare la velocità del vento. Contiene un contatto magnetico REED che invia un segnale ad ogni rotazione del rotore azionato dalla forza del vento. A una velocità del vento pari a 10 km/h corrisponde a 4 impulsi al secondo. Grado di protezione IP44. Dotato di braccio snodabile per l'installazione in ogni posizione. Dispone di morsetti di collegamento bipolare protetti dalla struttura laterale del sensore.

- **Caratteristiche tecniche**
- *Sensore a 3 pale*
- *Contatto di uscita massimo 30V 0,5A*
- *Il sensore chiude il suo contatto di uscita ad ogni giro del rotore di misurazione del vento.*
- *Misura velocità vento tramite conteggio degli impulsi (giri) completi nell'unità di tempo (con vento a 10Km/h corrispondono 4 impulsi di chiusura del contatto)*
- *Rilevazione giro tramite relè REED*
- *Grado di protezione IP44*



## PLUVIOMETRO FC-37

Il sensore è composto da due parti: un quadrato da esporre alla pioggia ed un modulino su cui è montato un potenziometro (il parallelepipedo blu), ovvero una resistenza variabile.



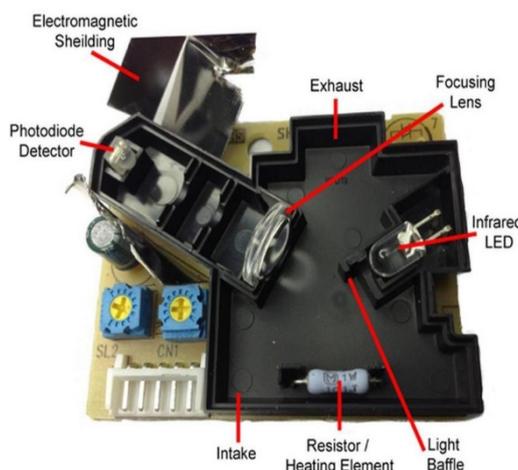
Il sensore di pioggia non è altro che una resistenza variabile, che cambia il valore in base alla quantità d'acqua presente.

Il sensore, in realtà può essere usato con l'uscita digitale, ma in questo caso avremmo una condizione piove o non piove (0 oppure 1), mentre in realtà ci sono condizioni in mezzo, come ad esempio piove poco, è tanto umido etc...

Dunque il consiglio è quello di usare l'uscita analogica del sensore pioggia, per sfruttare l'ADC di Arduino ed avere quindi una risoluzione migliore.

## PPD42NS – SHINYEI.RIVELATORE DI PM10 E PM2.5

Per materiale particolato aerodisperso si intende l'insieme delle particelle atmosferiche solide e liquide sospese in aria ambiente. Il termine PM2.5 identifica le particelle di diametro aerodinamico inferiore o uguale ai 2.5  $\mu\text{m}$ , una frazione di dimensioni aerodinamiche minori del PM10 e in esso contenuta. Il particolato PM2.5 è detto anche 'particolato fine', denominazione contrapposta a



‘particolato grossolano’ che indica tutte quelle particelle sospese con d.a. maggiore di 2.5 µm, all’interno della frazione PM10, quelle con d.a. compreso tra 2.5 e 10 µm. Sorgenti del particolato fine sono un po’ tutti i tipi di combustione, inclusi quelli dei motori di auto e motoveicoli, degli impianti per la produzione di energia, della legna per il riscaldamento domestico, degli incendi boschivi e di molti altri processi industriali. Come per il PM10, queste particelle sono caratterizzate da lunghi tempi di permanenza in atmosfera e, rispetto alle particelle grossolane, sono in grado di penetrare più in profondità nell’albero respiratorio umano. Anche il particolato PM2.5 è in parte emesso come tale direttamente dalle sorgenti in atmosfera

(PM2.5 primario) ed è in parte formato attraverso reazioni chimiche fra altre specie inquinanti (PM2.5 secondario), anzi si può sostenere senza troppa approssimazione che tutto il particolato secondario all’interno del PM10 (e che ne rappresenta spesso la quota dominante) sia costituito in realtà da particelle di PM2.5. L’indicatore particolato PM2.5 si basa sui valori di concentrazione di PM2.5 in atmosfera, misurati nelle stazioni di monitoraggio sul territorio nazionale e raccolti dall’ISPRA nell’ambito delle procedure sullo scambio di informazioni (Exchange of Information, EoI) previste dalle Decisioni 97/101/CE e 2001/752/CE. L’obiettivo della normativa sull’EoI è quello di fornire un quadro conoscitivo e rappresentativo dello stato della qualità dell’aria attraverso i dati di concentrazione di PM2.5 in atmosfera, consentendo il confronto tra i Paesi membri della Comunità Europea. L’obiettivo del D.Lgs. 155/2010 è quello di consentire, a regioni e province autonome, la valutazione e la gestione della qualità dell’aria ambiente. Il valore limite del PM2.5 per la protezione della salute umana, stabilito dalla normativa, è riportato nella Tabella A

**Tabella A: PM<sub>2,5</sub> - valore limite per la salute umana**

	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data alla quale il valore limite deve essere raggiunto
<b>FASE 1</b>				
Valore limite annuale	Anno civile	25 µg/m <sup>3</sup>	20 % all’11 giugno 2008, con riduzione il 1 gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0 % entro il 1° gennaio 2015	1° gennaio 2015
<b>FASE 2</b>				
Valore limite annuale	Anno civile	20 µg/m <sup>3</sup>		1° gennaio 2020

## SCHEDA RELE'



## ARCHITETTURA SOFTWARE

### Linguaggio di sviluppo firmware D.L

Il firmware del D.L è stato sviluppato utilizzando **linguaggio C e/o C++**. Questa è stata fatta e mantenuta grazie alle doti performanti di questi linguaggi. Come ambiente di sviluppo si è utilizzato MBED di ARM, una piattaforma che ben si presta allo sviluppo di applicazioni IoT basate su microcontrollori ARM e che dispone di svariate librerie di oggetti standard collaudate e che si evolve ed aggiornano continuamente.

Per lo sviluppo della parte server si è utilizzato:

- una macchina con sistema operativo Linux ;
- un server Apache;
- come DBMS MySql;
- come linguaggio di script PHP.

### Debugger

Il software e il firmware sviluppati sono stati sottoposti a debugger in modo da verificare il corretto funzionamento.

**Fig. 6: Protocollo di comunicazione socket TCP/IP**

TRASMISSIONE CLIENT > SERVER

(COM = 'd' invio dati )

INVIO DATI DA CLIENT

ID_AULA	#	COM	#	TEMP	#	UMID	#	CO2_V	#	PM10	#	VOC	#	AMP	#	MA	#	PRES	S_PRES	#	S_CO2	#	h_r	#	m_r	#	s_r	#	gg	#	mm	aa		
4B		1B		5B		5B		5B		5B		5B		5B		1B		1B		5B		5B		2b		2b		2b		2b		2b		2b

VMC_ON_h	#	VMC_OFF_h	#	TIM_I_h	#	TIM_F_h	#
2B		2B		2B		2B	

RISPOSTA SWERVER

ID_AULA	#	ACK
1B		1B

TRASMISSIONE Data Logger > C.d.C

(Type = 'c' comandi)

INVIO DATI CLIENT

ID_AULA	#	Type
4B	1B	1B

RISPOSTA SERVER

ID_AULA	#	Type	#	com	#
4B	1B	1B	1B	1B	1B

**Legenda**

Off/on\_VMC: 10000001 (81 esa.) on – 10000000 (80 esa.) off  
 Segnalazione\_OK\_finestra 10000010 (82 esa. ) Apri – 10000100 (84 esa.) Chiudere

TRASMISSIONE Data Logger > C.d.C.  
(Type = 'g' configurazione)

INVIO DATI CLIENT

D_AULA	#	Type
4B	1B	1B

Codice ASCII # > 35<sub>10</sub> > 00100101<sub>2</sub> (i dati sono stati pensati un modo che abbiano una configurazione che non coincide con questo carattere per cui poniamo ad 1 il MSb di ciascun Byte di configurazione)

RISPOSTA SERVER

D_AULA	#	TYPE	#	I°	#	II°	#
4 B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B

*Nota: Il firmware caricato sui D.L. è uguale per tutti ma non tutti hanno gli stessi sensori e effettuano le stesse attuazioni per cui le corrispondenti funzioni andranno abilitate o meno con un flag che dipende dalla configurazione.*

## Legenda

### I° Byte

Finestra:	11xxxxxx set - 10xxxxxx no_set
PM10 :	1x1xxxxx set - 1x0xxxxx no set
CO2/VOC	1xx1xxxx set - 1xxx0xxx no set
Tem/RH:	1xxx1xxx set - 1xxx0xxx no_ et
PIR:	1xxxx1xx set - 1xxxx0xx no set
filtri VMC	1xxxxx1x set - 1xxxxx0x no set
Monitoraggio corrente:	1xxxxxx1 set - 1xxxxxx0 no set

### II° Byte

## COSTI

Il costo stimato per la realizzazione del prototipo per il controllo di una singola aula è di circa € 5000, che includono il costo del *Ventilatore Meccanico Controllato a doppio Flusso*, che rappresenta il costo maggiore dell'intero sistema.

Le ore uomo impiegate nello sviluppo del progetto sono state stimate in circa 600 distribuite su quattro mesi per non sottrarre tempo ad altre attività degli alunni.

## LISTA MATERIALI

- scheda ST Nucleo F401RE 1
- scheda WiFi X-NUCLEO-IDW01M1 1
- sensore di temperatura/umidità DHT11 3
- sensori di presenza 2
- sensore qualità aria: adafruit ccs811 2
- sensori magnetici 3
- ppd42ns – shinyei.rivelatore di pm10 e pm2.5 2
- scheda relè 1
- anemometro 1
- pluviometro fc-37 1
- componentistica