

Sviluppo e progettazione case sensori wi-fi

Il primo sottosistema è stato interamente sviluppato nelle sue caratteristiche meccaniche ed elettroniche. Sulla base delle caratteristiche del sensore e dell'elettronica, è stata progettata, realizzata e collaudata tutta la parte meccanica di supporto all'installazione. Questo sottosistema comprende unicamente i sensori wi-fi tipicamente utilizzati nel sistema per il monitoraggio statico. I sensori wi-fi sono dispositivi in grado di collegarsi ad una rete locale, raccogliere ed inviare i dati strutturali direttamente ad un server remoto per il monitoraggio statico della struttura edilizia. Questi strumenti di misura sono stati progettati e realizzati secondo le linee guida del progetto indicato dal presente documento, con particolare attenzione alla versatilità di utilizzo ed al rispetto dell'opera su cui vengono applicati.

Il loro principio di funzionamento si basa su sensori di distanza con precisione fino al millesimo di millimetro (0,001 mm), i quali vengono alimentati e misurati ad intervalli regolari per poi conservare i dati raccolti nella memoria interna al dispositivo. Passato un lasso di tempo prestabilito, tutte le informazioni memorizzate vengono inviate al server remoto passando per la rete wi-fi locale, salvaguardando i dati nel caso in cui non fosse presente una connessione internet attiva. I sensori wi-fi sfruttano tutte le funzionalità dell'infrastruttura wireless, ormai tecnologicamente matura ed accessibile ad un vasto numero di persone, introducendo una peculiarità estremamente innovativa: l'assenza di un protocollo o software proprietari. Infatti, a differenza dei prodotti già presenti sul mercato, il loro utilizzo non prevede ricevitori particolari, così da estendere drasticamente il loro campo d'utilizzo. Per esempio, è possibile utilizzare anche uno smartphone come access point per lo scambio dei dati verso il web server, soluzione che risolverebbe il principale ostacolo in tutte quelle opere edilizie che non permettono l'accesso ad internet nei modi convenzionali. Come verrà descritto nei paragrafi successivi, le caratteristiche innovative non si esauriscono nella logica di scambio dati, ma sono presenti anche nel sistema di aggancio meccanico.

Integrato con le acquisizioni dinamiche ed all'applicazione web qui sviluppata, i sensori wi-fi risultano un valido strumento di monitoraggio e prevenzione per il dissesto delle aree d'interesse culturale.



Figura 1: Prove ancoraggio sensori Wi-fi con simulacro

1.1. Sviluppo e progettazione degli elementi meccanici

Come già accennato, le finalità d'uso dei sensori wi-fi hanno reso necessaria la realizzazione di una struttura meccanica che risultasse poco invasiva, che non compromettesse l'eventuale opera d'arte nell'intorno della fessura e che sia agevole da posizionare nel punto d'interesse.

La risposta a queste esigenze è stata il seguente sistema di ancoraggio:

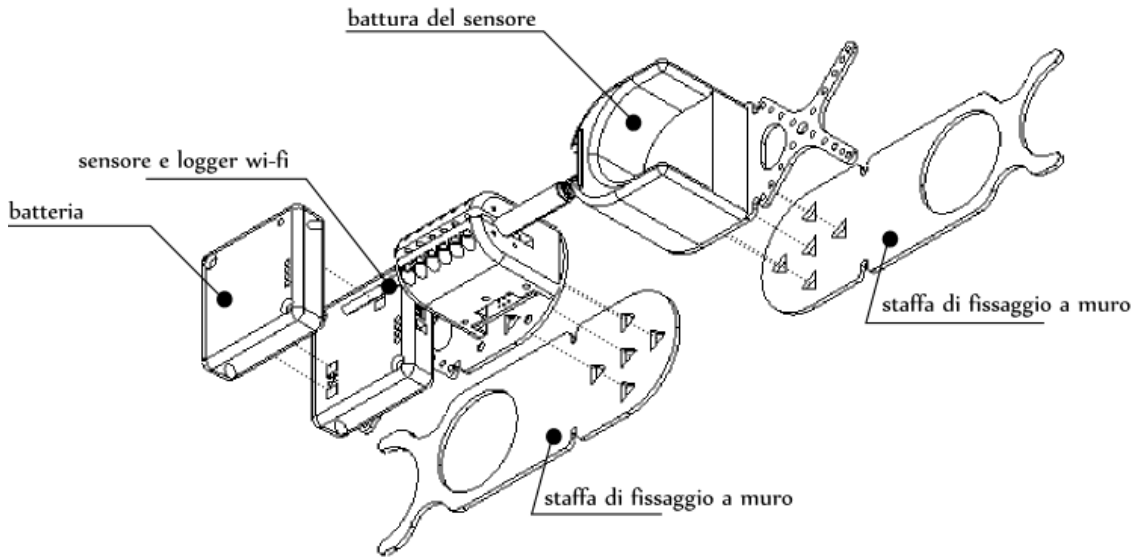


Figura 2:intero sistema di ancoraggio sensori Wi-fi

L'insieme è formato da quattro componenti principali:

- Staffe di fissaggio a muro
- Sensore e logger wi-fi
- Battuta del sensore
- Batteria

descritti in dettaglio nei prossimi paragrafi.

1.2. Le staffe di fissaggio a muro

Sono le uniche parti meccaniche direttamente a contatto con la superficie nell'intorno della fessura. Vengono ancorate alla parete attraverso colle specifiche, che possono cambiare a seconda dell'applicazione.

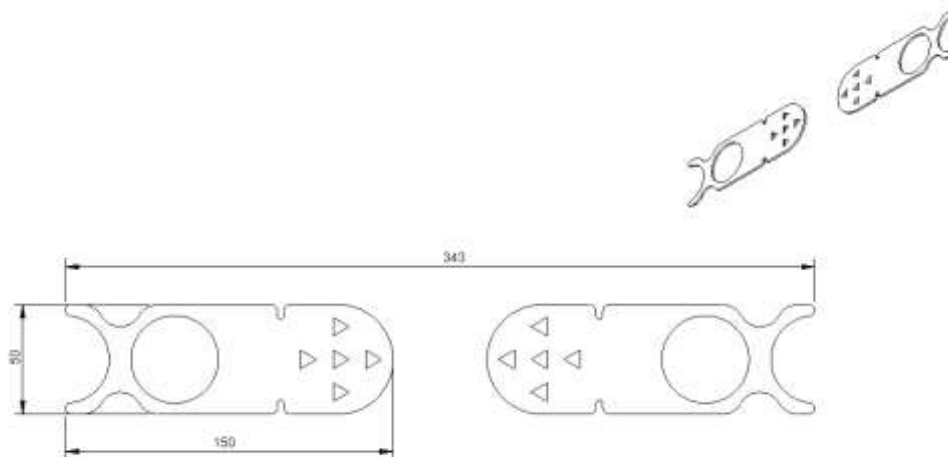


Figura 3: Staffe fissaggio

La particolare forma impressa serve per scaricare il peso in eccesso, senza compromettere la rigidità necessaria al sistema di misura. Inoltre gli scassi a forma di triangolo fanno parte del sistema di aggancio magnetico e rappresentano la sede dove si andranno ad alloggiare le calamite. Il posizionamento delle staffe prima che siano incollate sulla parete è di fondamentale importanza per avere una misura affidabile. Questa fase è stata resa semplice ed affidabile attraverso la realizzazione di un ulteriore componente meccanico: una dima magnetica. In questo modo il posizionamento ed il fissaggio può essere affidato ad un unico operatore.

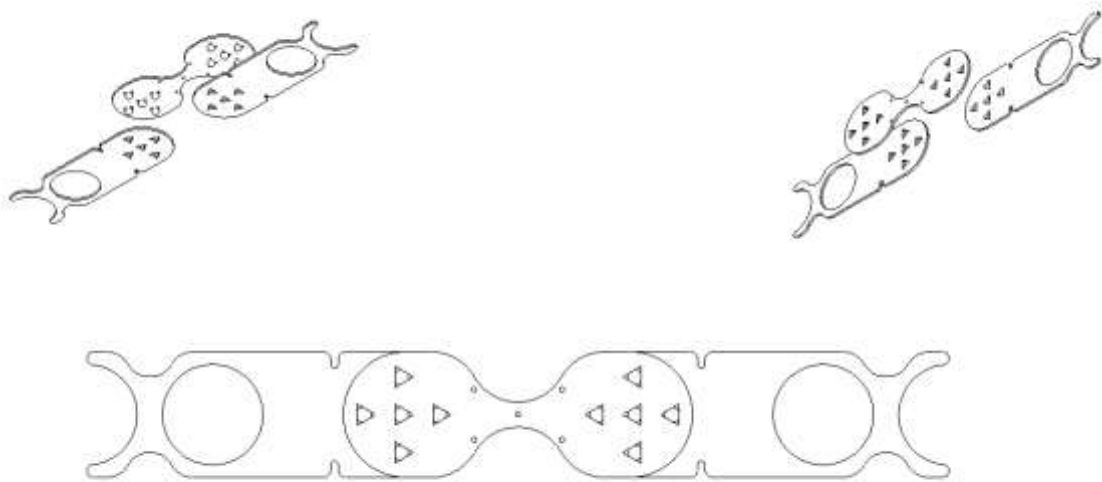


Figura 4: dima magnetica

1.3. Sensore e logger wifi

È il cuore del sistema in cui sono presenti il sensore, la scheda di condizionamento del segnale ed il modulo logger, il quale si occupa di memorizzare temporaneamente i dati per trasmetterli ad intervalli regolari direttamente al web server.

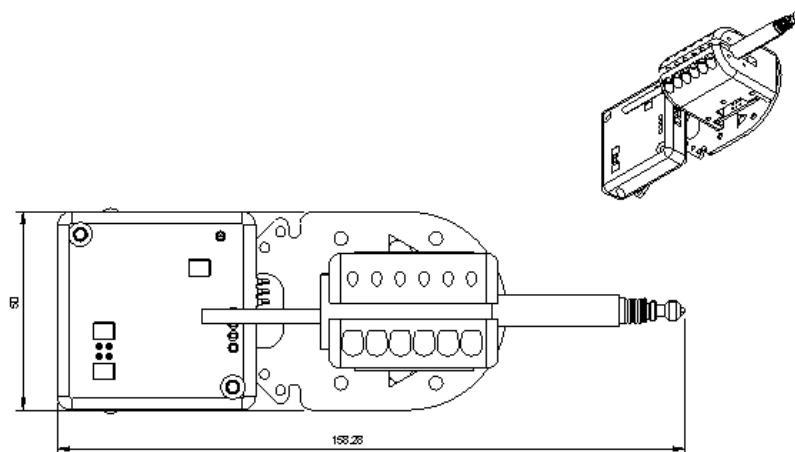


Figura 5: scheda controllo

La scheda di controllo (logger) è racchiusa in un contenitore in abs dalle dimensioni ridotte ed è possibile alimentarla tramite i pin che fuoriescono dal coperchio. Sulla stessa superficie sono presenti anche delle calamite che fanno parte del sistema d'aggancio magnetico della batteria esterna, altra caratteristica peculiare che permette di sostituirla con grande facilità senza dover usare strumenti particolari.

1.4. Battuta del sensore

Questo componente puramente meccanico serve a creare una battuta sul lato opposto a quello del sensore. In questo modo il sottoinsieme è completamente svincolato dal dispositivo di misura con conseguente assenza di errori dovuti al montaggio.

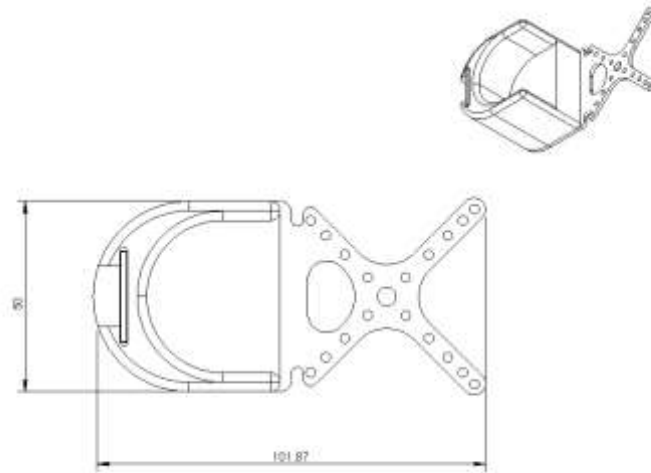


Figura 6: Battuta sensore

1.5. Batteria

È la fonte di energia per alimentare il sensore ed il logger. All'interno della scatola è presente una batteria al Litio a bassa autoscarica, per consentire il più lungo periodo di funzionamento del dispositivo.

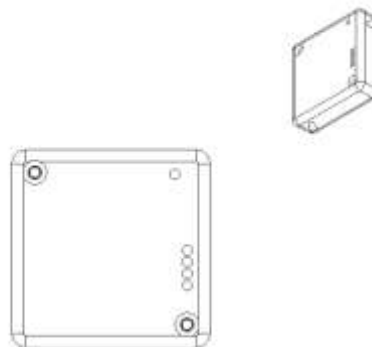


Figura 7: batteria

Sulla base della scatola per la batteria, oltre ai pin attraverso cui è fornita la tensione, sono presenti delle calamite che vanno ad agganciarsi a quelle del logger.

1.6. Il sistema di aggancio

Uno dei punti di forza della soluzione adottata risiede nel sistema di aggancio magnetico. Infatti le piastre sottostanti dei sottoinsiemi “Sensore e logger wi-fi” e “Battuta del sensore” sono dotate di calamite sferiche perfettamente in linea con gli scassi triangolari presenti sulle “Staffe di fissaggio a muro”. Una volta che quest’ultime siano state fissate a cavallo della fessura da monitorare, basta avvicinare le altre due parti e farle scorrere in modo che entrino nelle proprie sedi, così da ottenere un innesto rapido. L’aggancio magnetico, insieme alla lavorazione di precisione delle staffe, assicura al sistema una buona precisione di posizionamento, anche quando il sensore viene rimosso e riagganciato.

L’aggancio del sistema si suddivide in solo quattro parti:

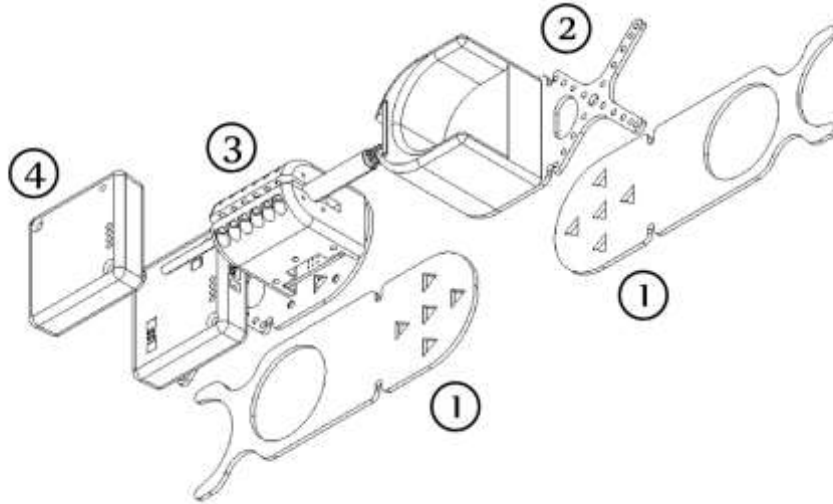


Figura 8: Ancoraggio completo

1. Incollaggio delle staffe di fissaggio a muro a cavallo della fessura, utilizzando con la tecnica più adeguata a seconda del piano da monitorare;
2. Agganciare la battuta del sensore ad una delle due piastre;
3. Agganciare il sensore con il logger wi-fi alla piastra libera
4. Agganciare la batteria al logger

Eseguito l’ultimo punto, il dispositivo è acceso ed operativo.

1.7. Sviluppo e progettazione elettronica e sw sensori wi-fi

Il sistema di monitoraggio wi-fi è caratterizzato da due schede elettroniche progettate appositamente per l’applicazione:

- Logger wi-fi
- Interfaccia sensore

Le linee guida utilizzate per la loro realizzazione possono essere riassunte come:

- Bassissimo consumo di potenza
- Dimensioni ridotte
- Massima accuratezza sulla misura
- Facilità di montaggio

1.7.1. Logger wi-fi

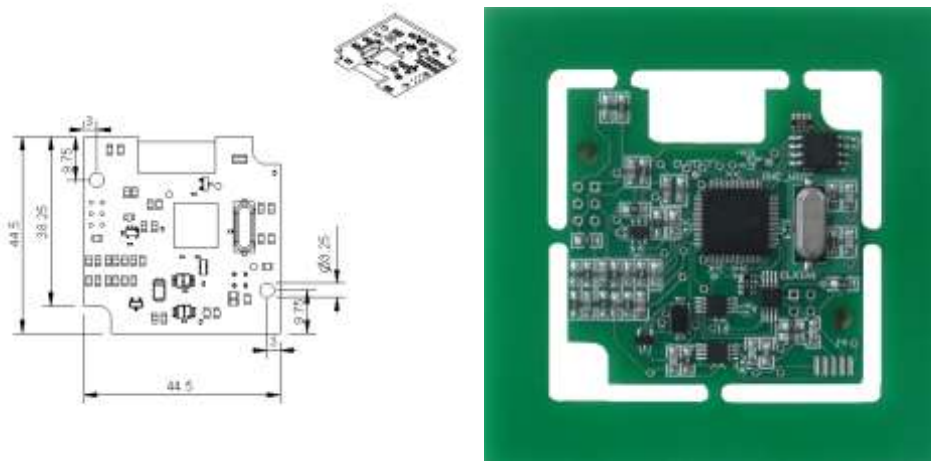


Figura 9: Logger wi-fi

Questa scheda elettronica racchiude la principale innovazione di questo sistema di monitoraggio: la possibilità di comunicare tramite la rete wi-fi.

Al suo interno integra un microcontrollore RISC ad alte prestazioni ed a bassissimo consumo, oltre l'innovativo modulo di ritrasmissione dati.

Il modulo logger wi-fi è dotato di quattro ingressi analogici collegati ad un convertitore analogico/digitale a 12 bit, di una memoria flash da 8 Mb in grado di memorizzare fino a 500 mila acquisizioni ed un modulo RTCC per la gestione dell'ora e del calendario.

Il microcontrollore invia e riceve i messaggi wi-fi ed è in grado di accettare diversi comandi di configurazione per effettuare il tuning in tempo reale del sistema di monitoraggio.

Le specifiche tecniche che hanno portato alla produzione del modulo logger wi-fi possono essere riassunte come segue:

- Bassissimo consumo per ottenere il più ampio periodo di operabilità
- Dimensioni ridotte per limitare l'impatto visivo
- Funzionamento indipendente e continuativo anche in assenza di una connessione internet

A differenza delle schede di monitoraggio wireless già presenti sul mercato, il modulo logger wi-fi utilizza l'omonimo protocollo per la trasmissione/ricezione dei dati, i quali vengono spediti direttamente al server remoto. Per questo non c'è la necessità di installare programmi aggiuntivi, ma le informazioni raccolte sono direttamente consultabili tramite un qualsiasi browser web.

Il dispositivo di monitoraggio è alloggiato nella scatola accanto al sensore LVDT; quest'ultimo integra sul coperchio le calamite per l'ancoraggio della batteria esterna.

Di seguito vengono riassunte le caratteristiche salienti del logger wi-fi:

- Convertitore analogico/digitale a 12 bit
- Sensori campionati: LVDT (sensore di distanza), temperatura
- Memoria flash da 8 Mb per memorizzare fino a 500000 acquisizioni
- Frequenza di trasmissione: 2.4GHz
- Possibilità di connettersi a qualsiasi rete wi-fi con password WPA2

- Diventa un access point con web server integrato per la prima configurazione
- Possibilità di entrare in modalità access point con web server tramite comando via web
- Possibilità di configurare i periodi tra un campionamento e l'altro ed invio dei dati tramite browser
- Comunica direttamente ad un web server tramite protocollo HTTP
- Dimensioni scheda: 44.5x44.5 mm
- Fornito con scatola in abs nero 50x50x15 mm
- Durata: fino a 5 mesi (con acquisizioni ogni ora ed invio dati ogni 6 ore)

1.7.2. Interfaccia sensore

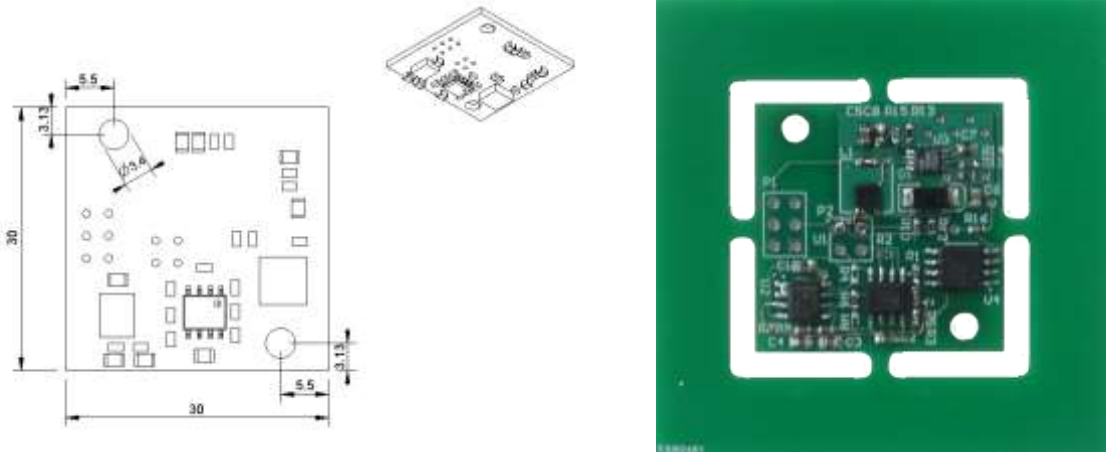


Figura 10: interfaccia sensore

Ha lo scopo di generare il livello di tensione necessario per alimentare il sensore, oltre ad amplificarne il segnale. Si è scelto di rendere l'interfaccia indipendente dal logger wi-fi in modo che sia adattabile ad altri tipi di sensore.

L'interfaccia sensore è posizionata sotto il dispositivo di misura LVDT ed è collegata sia al sensore che alla scheda logger wi-fi.

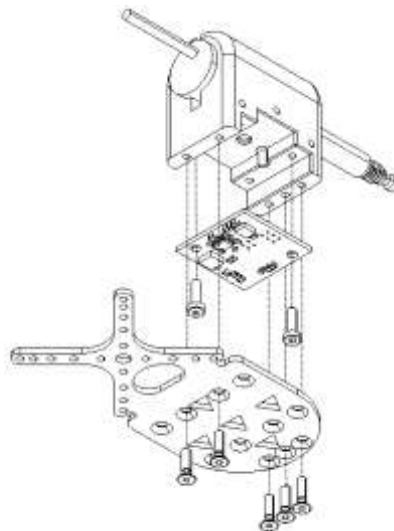


Figura 11: fissaggio sensore

1.7.3. La durata della batteria

Uno dei requisiti principali del sistema è la sua durata nel tempo. Con buona approssimazione, è possibile suddividere il consumo del sistema in 3 zone:

- SLEEP: è il consumo in stand-by del dispositivo, che si attesta a circa $160 \mu\text{A}$
- ADC: rappresenta il momento in cui il dispositivo accende il sensore LVDT ed esegue la misura. Visto che il tempo in cui si trova in questo stato è di circa 10 ms con un assorbimento che si attesta a 10 mA, questo termine può essere trascurato ai fini del calcolo della durata della batteria;
- WIFI: è il tempo di accensione ed invio dati attraverso la rete. Questo periodo è fortemente dipendente dal tempo che ci mette il router per associare la periferica alla rete ed assegnargli un indirizzo IP, valore che si aggira sui 20 secondi con un assorbimento di corrente di circa 50 mA.

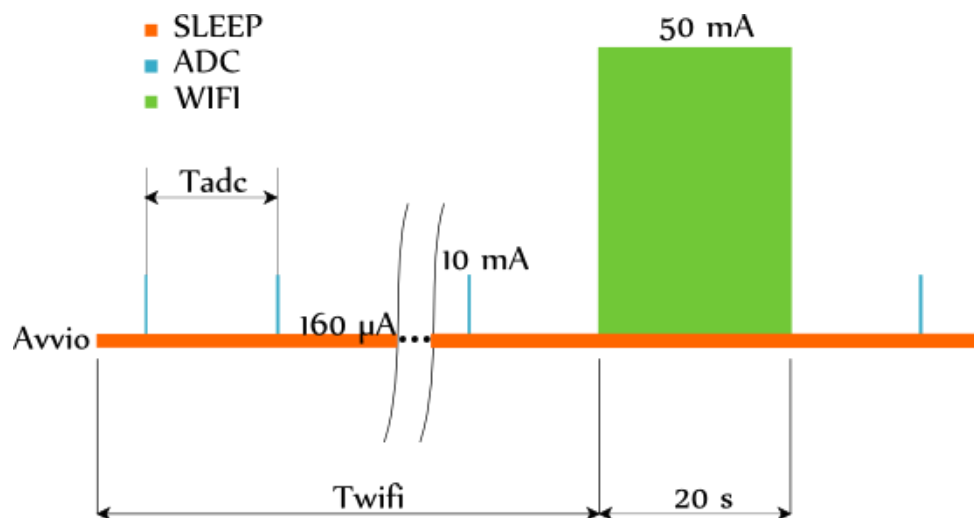


Figura 12: Tempi di funzionamento

Ovviamente la durata della batteria dipende in modo critico dalla configurazione assegnata; in particolare, più frequentemente si trasmettono i dati dal modulo wi-fi e più l'autonomia si riduce. Per ottenere la durata della batteria basta calcolare la corrente media tra una trasmissione e l'altra e dividerla per la sua capacità.

Caso 1:

Si vuole acquisire dai sensori una volta ogni ora ($T_{adc} = 3600$ secondi) ed inviare i dati raccolti ogni 6 ore ($T_{wifi} = 21600$ secondi).

Le correnti medie nei vari spazi temporali, trascurando la zona ADC che risulta ininfluente, saranno:

$$I_{sleep} = 21600 * 160 * 10^{-6} = 3.4 \text{ [As]}$$

$$I_{wifi} = 20 * 50 * 10^{-3} = 1 \text{ [As]}$$

Sommando i due termini e dividendo per il tempo di una trasmissione, si avrà il consumo medio:

$$I_{media} = (I_{sleep} + I_{wifi}) / 7220 = 203.51 \mu\text{A}$$

Se si considera una batteria da 750 mAh, dividendo questa capacità per la corrente media:

$$T = 3685.32 \text{ h} = 153 \text{ giorni} = 5.1 \text{ mesi}$$

Caso 2:

Si vuole acquisire dai sensori una volta ogni 30 minuti ($T_{\text{adc}} = 1800$ secondi) ed inviare i dati raccolti ogni 2 ore ($T_{\text{wifi}} = 7200$ secondi).

Le correnti medie nei vari spazi temporali, trascurando la zona ADC che risulta ininfluyente, saranno:

$$I_{\text{sleep}} = 7200 * 160 * 10^{-6} = 1.15 \text{ [As]}$$

$$I_{\text{wifi}} = 20 * 50 * 10^{-3} = 1 \text{ [As]}$$

Sommando i due termini e dividendo per il tempo di una trasmissione, si avrà il consumo medio:

$$I_{\text{media}} = (I_{\text{sleep}} + I_{\text{wifi}}) / 7200 = 298.6 \text{ } \mu\text{A}$$

Se si considera una batteria da 750 mAh, dividendo questa capacità per la corrente media:

$$T = 2511.72 \text{ h} = 104 \text{ giorni} = 3.4 \text{ mesi}$$

Caso 3:

Spesso è utile avere una caratterizzazione dell'ambiente che si sta monitorando per estrapolare dalla misura gli effetti ciclici, come la dilatazione termica durante la giornata. Per ottenere queste informazioni si impostano le variabili temporali in modo da ottenere acquisizioni più frequenti, a scapito però dell'autonomia. Visto che la fase di caratterizzazione si conclude nel giro di 1 mese, passato questo periodo, di solito, si riconfigura il modulo con tempi più laschi, così da aumentare il periodo di funzionamento.

Si prenda il caso in cui la caratterizzazione sia fatta con le tempistiche definite nel caso 2, mentre nel tempo restante il modulo sia configurato come il caso 1. Per ottenere l'autonomia, basta calcolare l'energia consumata nel primo mese e sottrarla alla capacità totale.

Definendo T_1 il periodo di acquisizione a frequenza alta e T_2 quello a frequenza più bassa:

$$T_1 = 1 \text{ mese @ } 30 \text{ min}/2 \text{ ore}$$

$$T_2 = ?? @ 1 \text{ ora}/6 \text{ ore}$$

L'energia consumata nel primo mese non è altro che la corrente media moltiplicata per le ore in T_1

$$E_{T_1} = 298.6 * 10^{-6} * 720 = 215 \text{ mAh}$$

$$C_{\text{residua}} = 750 - 215 = 535 \text{ mAh}$$

A questo punto T_2 la si può calcolare come nei casi precedenti, dividendo la capacità residua per la corrente media:

$$T_2 = 535 * 10^{-3} / (203.51 * 10^{-6}) = 2628 \text{ ore} = 109 \text{ giorni} = 3.6 \text{ mesi}$$

L'autonomia complessiva del dispositivo sarà la somma dei periodi

$$T_1 + T_2 = 4.6 \text{ mesi}$$

1.8. Sviluppo del software modulo logger

Il modulo logger wi-fi integra al suo interno un programma che implementa tutta la logica di funzionamento per il monitoraggio, attraverso l'acquisizione del segnale in uscita dal sensore, e la comunicazione tramite la rete wireless. Questo software (chiamato anche firmware) è completamente trasparente all'utente finale, il quale interagirà con il modulo tramite i comandi messi a disposizione sul web server e, quindi, senza la necessità di installare alcuna applicazione aggiuntiva.

Le attività del logger wi-fi possono essere suddivise in cinque punti:

1. inizializzazione
2. comunicazione wifi
3. acquisizione dati
4. stand-by
5. access point con web server

A parte quella di inizializzazione e quella access point con web server, le altre fasi sono scandite dall'orologio interno e non sono in alcun modo sovrapponibili.

Di seguito viene proposta una schematizzazione a blocchi del suo funzionamento:

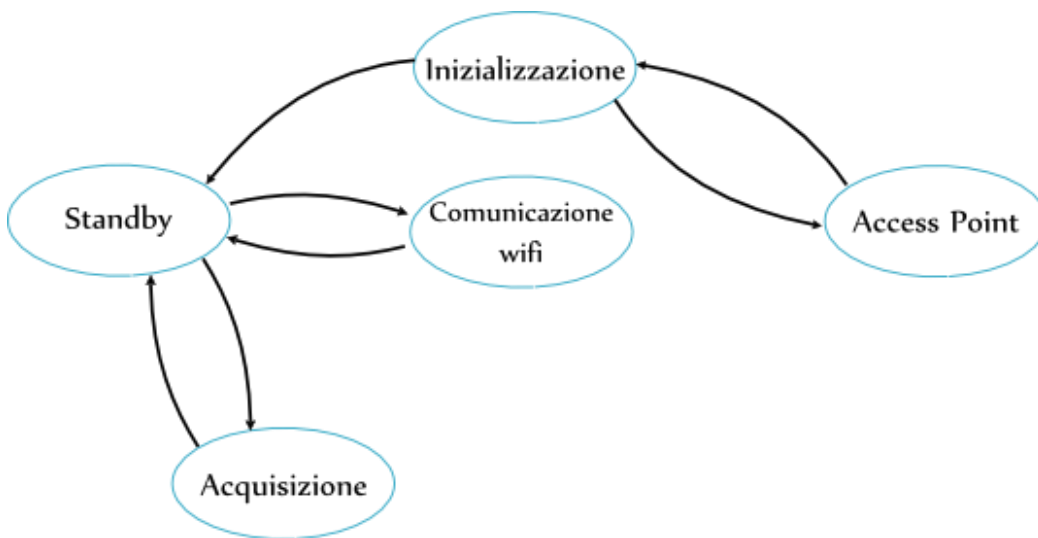


Figura 13: Diagramma degli stati