

PCTO — PROGETTO FINALE A.S. 2025/26

AQUA *SENSE*

Sistema IoT per il monitoraggio idrico urbano
e la prevenzione delle inondazioni

Committente

Daniele La Cecilia — CNR Modena

Filippo Damiano | Jacopo Intrepidi Balugani

Maggio 2026

Le alluvioni urbane crescono: perche' serve monitorare le vasche

Il problema

Negli ultimi anni eventi atmosferici estremi sempre piu' frequenti colpiscono le aree urbane. Le superfici impermeabili delle citta' — asfalto, cemento — impediscono all'acqua di essere assorbita dal suolo. Il risultato sono allagamenti improvvisi che danneggiano infrastrutture, abitazioni e mettono a rischio la sicurezza delle persone.

Il modello Sponge City

Per rispondere a questa sfida e' nato il concetto di Sponge City: la citta' progettata come una spugna, capace di assorbire, trattenere e rilasciare le acque piovane in modo controllato attraverso vasche di raccolta, aree verdi e reti di drenaggio intelligenti.

La chiave: monitorare in tempo reale

Senza dati in tempo reale, lo scarico delle vasche avviene troppo tardi o troppo presto. Un sistema IoT di monitoraggio risolve questo problema.

Il CNR di Modena ci ha chiesto di costruire un sistema IoT di monitoraggio idrico

COMMITTENTE: Daniele La Cecilia — CNR Modena — Prevenzione Inondazioni tramite IoT e Machine Learning

Il problema da risolvere

Esistono già sistemi di raccolta delle acque piovane nelle aree urbane, ma mancano strumenti per monitorarne i livelli in tempo reale.

Senza questo monitoraggio la gestione degli scarichi avviene in modo reattivo, aumentando il rischio di esondazioni.

Il committente ha richiesto un sistema completo che:

- Rilevi il livello dell'acqua nelle vasche
- Misuri parametri ambientali contestuali
- Trasmetta i dati a un sistema centrale
- Li visualizzi su un'interfaccia web
- Costruisca una base dati per futuri modelli di Machine Learning

I requisiti richiesti

1. Monitoraggio livelli idrici

Misura continua del livello dell'acqua tramite sensori fisici installati nelle vasche.

2. Dati ambientali contestuali

Temperatura e qualità dell'acqua (TDS) per arricchire i dati e abilitare previsioni.

3. Connettività e trasmissione

Invio dati via rete cellulare. Backup su scheda SD in assenza di segnale.

4. Visualizzazione e alerting

Dashboard web con grafici in tempo reale e notifiche al superamento di soglie critiche.

AQUA SENSE: dal sensore alla dashboard, un sistema IoT completo a 4 strati

Il sistema e' composto da quattro strati che lavorano in sequenza: i sensori rilevano i dati fisici, il microcontrollore li aggrega, la rete li trasmette, e la dashboard li mostra in tempo reale.

01

Strato fisico

Sensori installati nelle vasche: HC-SR04 per il livello idrico, DS18B20 per la temperatura, TDS V1.0 per la qualita' dell'acqua. Tutti collegati al microcontrollore ESP32 che coordina la raccolta.

02

Strato di comunicazione

Il modulo SIM900 trasmette via GPRS/GSM i pacchetti dati al server remoto. In caso di assenza di rete, i dati vengono salvati temporaneamente sulla scheda SD e inviati al ripristino.

03

Strato di archiviazione

I dati arrivano al database remoto con timestamp. Si costruisce cosi' uno storico completo delle misurazioni, fondamentale per analisi dei trend e futuri modelli predittivi con ML.

04

Strato di visualizzazione

La dashboard web mostra in tempo reale il livello dell'acqua, temperatura e qualita'. Include grafici storici e alert automatici quando i valori superano soglie critiche prefissate.

I sensori e l'ESP32: l'hardware che raccoglie i dati sul campo

La scelta dell'hardware è stata definita dal committente. Al centro c'è l'ESP32, un microcontrollore potente e a basso costo, ideale per applicazioni IoT. Ogni sensore copre uno specifico parametro da monitorare.

ESP32

Microcontrollore centrale

Il cervello del sistema. Legge i dati da tutti e tre i sensori, li formatta in pacchetti strutturati e li passa al modulo SIM900 per la trasmissione. Supporta Wi-Fi e Bluetooth nativamente.

HC-SR04

Sensore a ultrasuoni — livello acqua

Emette impulsi ultrasonici e misura il tempo di ritorno per calcolare la distanza dalla superficie dell'acqua. Traduce questa distanza nel livello della vasca.

DS18B20

Sonda digitale — temperatura acqua

Sensore one-wire ad alta precisione. Misura la temperatura dell'acqua in gradi Celsius e la trasmette all'ESP32 con un singolo cavo dati.

TDS V1.0

Sensore qualità' acqua

Misura i solidi totali disciolti nell'acqua (Total Dissolved Solids), un indicatore della qualità' e del grado di contaminazione. Utile per analisi ambientali avanzate.

SIM900

Modulo GSM/GPRS — trasmissione

Garantisce la connettività via rete cellulare anche in assenza di Wi-Fi. Trasmette i dati al server remoto e attiva il salvataggio su SD card quando la rete non è disponibile.

Come viaggiano i dati: dal sensore fisico al grafico sul browser in tempo reale

Il flusso e' lineare e ininterrotto: i sensori raccolgono, l'ESP32 elabora, il SIM900 trasmette, il database archivia, la dashboard mostra. In caso di rete assente, la scheda SD garantisce che nessun dato vada perso.



Il flusso passo per passo

1. I sensori misurano livello, temperatura e qualita' dell'acqua ogni N secondi.
2. L'ESP32 legge i valori, li aggrega in un pacchetto strutturato e li passa al SIM900.
3. Il SIM900 trasmette via GPRS al server. Se offline, salva sulla SD card.
4. Il server riceve il pacchetto, lo valida e lo inserisce nel database con timestamp.
5. La dashboard interroga il database e aggiorna i grafici. Se un valore supera la soglia: alert.

Da gennaio a maggio 2026: le fasi di sviluppo del progetto



Il sistema funziona: collaudo end-to-end verificato su tutti i componenti

Il collaudo ha verificato il funzionamento dell'intero sistema: ogni componente e' stato testato singolarmente e poi nell'integrazione completa. Il flusso dati risulta stabile e tutti i parametri vengono acquisiti, trasmessi e visualizzati correttamente.

Cosa e' stato testato

Lettura sensori HC-SR04, DS18B20, TDS

Valori corretti e stabili nelle condizioni di test in laboratorio.

Gestione e logica dell'ESP32

Lettura simultanea dei tre sensori, formattazione dati e passaggio al SIM900.

Trasmissione GPRS via SIM900

Pacchetti inviati correttamente al server remoto con connessione stabile.

Fallback su scheda SD

Dati salvati offline in assenza di rete, recuperati al ripristino della connessione.

Archiviazione nel database

Dati ricevuti inseriti correttamente con timestamp nel database remoto.

Dashboard web in tempo reale

Grafici aggiornati ad ogni nuova misurazione; alert funzionante.

Stato del sistema alla presentazione

Livello acqua (HC-SR04)	Operativo
Temperatura (DS18B20)	Operativo
Qualita' acqua (TDS)	Operativo
Trasmissione GPRS	Operativo
Dashboard web	Operativo
Fallback SD card	Operativo

Attivita' condivise nel gruppo

Definizione del formato dati, configurazione canali di trasmissione, test di integrazione end-to-end, redazione e aggiornamento del diario di bordo, confronti periodici con i docenti referenti.

Risultati raggiunti e cosa viene dopo AQUA SENSE

Cosa abbiamo costruito

Il progetto AQUA SENSE ha raggiunto gli obiettivi definiti dal committente. Partendo da zero — senza esperienza specifica su ESP32, sensori IoT o sviluppo web — abbiamo costruito un sistema funzionante che copre l'intero ciclo del dato: raccolta fisica, trasmissione, archiviazione e visualizzazione in tempo reale.

Il sistema rileva continuamente livello, temperatura e qualità dell'acqua nelle vasche di raccolta urbane, trasmette i dati via rete cellulare a un database remoto e li mostra su una dashboard web con grafici e alert automatici.

L'esperienza PCTO ci ha permesso di affrontare tutte le fasi reali di un progetto ingegneristico: confronto col committente, progettazione dell'architettura, sviluppo hardware e software, integrazione dei componenti, test e collaudo del sistema completo.

I dati raccolti da AQUA SENSE costituiscono la base per il vero obiettivo finale del CNR: costruire un modello predittivo con Machine Learning capace di anticipare il rischio di inondazione prima che avvenga.

Obiettivi raggiunti

- Monitoraggio livelli in tempo reale
- Raccolta dati ambientali contestuali
- Trasmissione dati via rete cellulare
- Archiviazione con storico nel database
- Dashboard web con grafici e alert
- Resilienza offline con scheda SD

Prospettive future

I dati di AQUA SENSE alimenteranno:

- Modelli ML per previsione del rischio alluvione
- Espansione a più vasche sul territorio
- Ottimizzazione automatica degli scarichi
- Integrazione con sistemi di allerta meteo
- Connessione alla protezione civile

AQUA SENSE — PCTO 2025/26 — CNR Modena

Grazie per *l'attenzione*

Siamo disponibili per domande e osservazioni

Filippo Damiano

Quinta superiore | PCTO 2025/26

**Jacopo Intrepidi
Balugani**

Quinta superiore | PCTO 2025/26