



Ricerca di Sistema elettrico

Sperimentazione di applicazioni per il monitoraggio della qualità e l'analisi della sicurezza delle infrastrutture urbane

S. Chiesa, F. Conigli, A. Di Pietro, L. La Porta, V. Nanni, F. Pieroni,
M. Pollino, A. Scognamiglio, S. Taraglio, M. Zinzi

Sperimentazione di applicazioni per il monitoraggio della qualità e l'analisi della sicurezza delle infrastrutture urbane

S. Chiesa, F. Conigli, A. Di Pietro, L. La Porta, V. Nanni, F. Pieroni, M. Pollino, A. Scognamiglio S. Taraglio, M. Zinzi

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Local Energy District

Linea di attività: Sperimentazione di applicazioni per il monitoraggio della qualità e l'analisi della sicurezza delle infrastrutture urbane

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	6
1 INTRODUZIONE.....	7
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	9
2.1 SMART ROAD.....	9
2.1.1 <i>Attività sul veicolo elettrico</i>	9
2.1.1.1 Installazione dei sensori (manto stradale, chimico) sul veicolo.....	9
2.1.1.2 Test operativi del veicolo nel sito di prova.....	11
2.1.1.3 Prove di teleguida con joystick, joypad e volante-pedaliera.....	16
2.1.1.4 Campagna di raccolta dati per la localizzazione e la ricostruzione dello spazio.....	18
2.1.2 <i>Test dei sensori in condizioni operative con trasmissione al CIPCast-ER in tempo reale</i>	19
2.1.3 <i>Realizzazione di un nodo ROS per la pubblicazione dei dati propriocettivi</i>	19
2.1.4 <i>Attività sulla infrastruttura stradale</i>	20
2.1.4.1 Infrastruttura fisica.....	20
2.1.4.2 Rete mesh e programma di gestione dell'impianto AUGÉ G4.....	22
2.1.4.3 Sistema telecamera TAI-FAI conteggio flusso veicoli.....	24
2.1.4.4 Sensoristica.....	26
2.1.5 <i>Installazione e configurazione dell'Access Point esterno per la comunicazione col veicolo</i>	26
2.2 SMART COOL PLACE.....	27
2.2.1 <i>Descrizione dell'installazione</i>	27
2.2.1.1 <i>Descrizione del sito</i>	28
2.2.1.2 <i>Descrizione del sistema di nebulizzazione</i>	29
2.2.1.3 <i>Descrizione dell'impianto fotovoltaico</i>	32
2.2.1.4 <i>Descrizione della sensoristica di campo</i>	34
2.2.1.5 <i>Procedure di misura</i>	34
2.2.2 <i>Risultati</i>	38
2.3 CIPCAST-ER.....	49
2.3.1 <i>Sperimentazione del veicolo in area soggette ad alert alluvionale</i>	49
2.3.2 <i>Sperimentazione dello scambio dati tra veicolo e CIPCast-ER</i>	51
2.3.3 <i>Sperimentazione dello scambio dati tra lo Smart Cool Place e la piattaforma CIPCast-ER</i>	54
2.3.4 <i>Applicazione di tecniche di ottimizzazione per la realizzazione del vehicle-to-grid</i>	55
3 CONCLUSIONI.....	57
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	60

Sommario

Le attività descritte nel presente Report riguardano la terza annualità del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021, Progetto “Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali”. In particolare, esse sono relative alla Linea di Attività LA1.38 “Sperimentazione di applicazioni per il monitoraggio della qualità e l'analisi della sicurezza delle infrastrutture urbane” del Work package WP1 “Local Energy District”.

Nell’ambito della presente linea di attività è proseguito ed è stato finalizzato quanto avviato nelle precedenti annualità, per ciò che riguarda le tematiche e gli strumenti applicativi nell’ambito di “Smart Roads”, “Smart Cool Place” e della piattaforma di supporto alle decisioni “CIPCast-ER”, focalizzandosi sugli aspetti di implementazione e sperimentazione.

1 Introduzione

Le attività della presente linea hanno riguardato le tematiche e gli strumenti applicativi nell'ambito di "Smart Roads", "Smart Cool Place" e della piattaforma "CIPCast-ER" e si sono focalizzate sugli aspetti di sviluppo ed implementazione, di calibrazione/validazione e di realizzazione dei dimostratori.

In particolare, le attività si sono così articolate:

- **Smart Road:** Durante la terza annualità si è proceduto alla integrazione dei sensori a bordo del veicolo elettrico autonomo e al loro test funzionale. Si è altresì proceduto alla validazione del canale di comunicazione con la infrastruttura intelligente compiendo una serie di test funzionali di trasmissione da e per il veicolo. Sono state compiute delle campagne di acquisizione dati dei veicoli e dei suoi sensori per la ricostruzione dell'ambiente al fine della guida autonoma. Sono stati eseguiti dei test di funzionamento nel sito di prova sia in teleguida che in guida autonoma, in coordinamento con il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia (LA1.44). Dal punto di vista della infrastruttura fisica, si è proceduto alla realizzazione di una prima versione di test composta dalla sensoristica prevista, ma montata su soli quattro pali dell'illuminazione, compiendo test funzionali di controllo e lettura dei dispositivi montati. È stata poi completata l'intero insieme dei pali previsti.
- **Smart Cool Place:** Durante la terza annualità si è arrivati alla definizione delle specifiche tecnico economiche di un sistema evaporativo auto-costruito, alimentato e potenzialmente in grado di dialogare con un sistema di monitoraggio ambientale centrale, fornendo dati microclimatici di: contesto urbano, all'interno dell'ambito a microclima controllato, potenziale effetto di raffrescamento del sistema realizzato. È stato inoltre prodotto uno schema parametrico in grado di guidare la progettazione di sistemi evaporativi in funzione delle principali grandezze fisiche che concorrono a determinare le prestazioni del sistema. È stato infine ideata e dettagliata una soluzione progettuale in grado di integrare: comfort evaporativo, prestazione energetica, connettività a diversi livelli per fornire servizi agli utenti in ottica smart city. Per tutte le soluzioni e le attività sviluppate, sono state implementate delle analisi costi benefici per verificarne l'effettiva realizzabilità.
- **CIPCast-ER:** Sulla base dei casi d'uso individuati nella seconda annualità, sono stati effettuati test di validazione delle seguenti funzionalità: i) Acquisizione dello stato delle lampade dei pali intelligenti, ii) capacità di dimmerazione delle lampade dei pali intelligenti; iii) Acquisizione dei dati ambientali dai pali intelligenti; iv) Visualizzazione degli strati informativi GIS; v) Capacità di ricezione e invio degli allarmi dal/verso il veicolo; vi) Funzionalità di ricerca colonnina di ricarica. Sulla base dell'integrazione dei vari moduli software e dell'individuazione e caratterizzazione dei siti di test, sono state eseguite le sperimentazioni nelle aree designate proceduto alla validazione della piattaforma CIPCast-ER per il monitoraggio e l'analisi del rischio sul sistema elettrico e stradale in caso di eventi naturali estremi in collaborazione con il DSFC dell'Università dell'Aquila e sulla base degli output della LA1.41. In particolare, è stata monitorato un possibile evento di alluvione nell'area di test e testata la capacità del veicolo di acquisizione dell'evento estremo e testata la capacità dell'utente finale della piattaforma di visualizzare l'occorrenza dell'evento

nell'interfaccia grafica nonché la risposta del veicolo. Sono state inoltre studiate le dipendenze della rete elettrica dalla rete viaria urbana investigando come opportune tecniche di efficientamento della rete elettrica possano tener conto delle condizioni del traffico urbano nonché del sovraccarico delle varie stazioni di media tensione considerate in ambito urbano. Quest'ultimo aspetto, per quanto riguarda le dipendenze tra sistema elettrico e viario è stato analizzato tenendo conto degli sviluppi applicativi prodotti dalla Facoltà Interdipartimentale di Ingegneria dell'Università Campus Biomedico di Roma nell'ambito della LA1.42. Infine, sono state testate le modalità di scambio dati ambientali con lo Smart Cool Place.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Smart Road

Le attività realizzate nel corso della presente annualità nella Smart Road sono suddivisibili in quattro filoni:

- attività sul veicolo elettrico;
- attività sulla infrastruttura stradale;
- attività di interfacciamento tra veicolo e CIPCast-ER;
- attività di elaborazione e visualizzazione in CIPCast-ER.

2.1.1 Attività sul veicolo elettrico

Le attività sul veicolo elettrico sono state a loro volta suddivise in due filoni:

- il rilascio dei sensori di bordo installati a bordo e dialoganti con l'infrastruttura;
- i test operativi del veicolo nel sito di prova.

Per ciò che riguarda il secondo filone, si vuole sottolineare che qui ricadono tutte quelle operazioni volte a mettere in strada il veicolo con tutte le caratteristiche proprie del progetto. Ciò implica tutte quelle attività ancillari, ma irrinunciabili e talvolta complesse, di calibrazione e misura, per poter essere in grado di controllare il veicolo con successo ed in sicurezza.

2.1.1.1 Installazione dei sensori (manto stradale, chimico) sul veicolo

Durante le attività del secondo anno sono stati messi a punto due sensori: un rivelatore di difetti del manto stradale ed un sensore chimico per la qualità dell'aria [1]. In questa annualità i sensori sono stati installati a bordo del veicolo e sperimentati in condizioni di esercizio, ovvero dialoganti con l'infrastruttura.

Rivelatore di difetti del manto stradale

Questo sensore analizza delle immagini provenienti da una telecamera tramite un approccio di Intelligenza Artificiale realizzato con un'architettura neurale addestrata a riconoscere un certo insieme di difetti del manto stradale. Le classi di difetto individuate sono state sei: tombini, giunzioni, fessurazioni ramificate o "a pelle di cocodrillo", buche e rattoppi, attraversamenti pedonali zebra, linee scolorite. La classe dei tombini è stata aggiunta in quanto spesso tali oggetti sono montati su di un livello diverso rispetto al manto stradale divenendo così assimilabili a vere e proprie buche; allo stesso tempo può essere utile realizzare una mappatura dei tombini nell'ottica della manutenzione delle infrastrutture municipali. I rattoppi sono stati messi nella medesima classe delle buche in quanto hanno spesso i medesimi effetti delle buche e comunque indicano una zona dove l'asfalto è ammalorato e necessiterebbe di interventi risolutivi. Gli attraversamenti pedonali a zebra sono stati inseriti nel dataset con l'ottica di effettuare una loro mappatura volta al monitoraggio continuo del loro stato (graduale scolorimento fino alla scomparsa).

Nella precedente annualità si è realizzata tutta la parte di addestramento dell'architettura neurale e della messa a punto dell'algoritmo fino a giungere ad un prototipo funzionante implementato su HW dedicato, una scheda NVIDIA Jetson Nano [1]. In questa annualità si è integrato il sensore a bordo del veicolo e lo si è provato in condizioni operative.

Il sensore è costituito da quattro componenti principali: una telecamera, un sensore GPS, un dispositivo di rete e la scheda di calcolo alla quali tutti i componenti sono connessi.

La telecamera, una webcam, è stata alloggiata sul rollbar anteriore del veicolo (Figura 1), in modo da inquadrare la strada; la scheda di calcolo è stata alloggiata in una scatola elettrica all'interno del rack presente nella parte posteriore del veicolo ed alloggiante il computer principale di bordo. Il sensore GPS è stato montato sulla parte superiore del rack e si è provveduto alla connessione di rete.

Questa connessione possiede un certo grado di flessibilità in quanto può essere realizzata in due modalità differenti: in modalità wireless oppure cablata.

Nel primo caso un dispositivo WiFi è stato connesso ad una presa USB della scheda Jetson Nano, nel secondo caso la connessione è realizzata tramite cavo Ethernet connesso al PC di bordo.

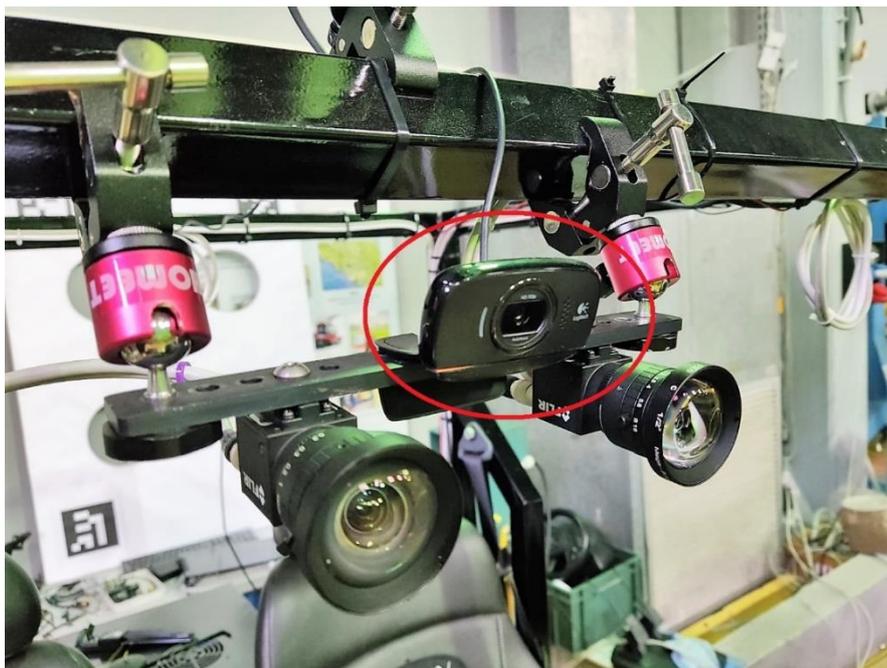


Figura 1. La telecamera del sistema di rivelazione del manto stradale (nell'ovale rosso), montata sul rollbar anteriore del veicolo

Il sensore è quindi in grado di operare secondo due diverse modalità: indipendente o integrata nella rete locale del veicolo. Nel primo caso esso può inviare l'avvenuto riconoscimento di un difetto stradale, completo di immagine, affidabilità del dato e posizione direttamente attraverso il proprio link WiFi alla Smart Road. Nel secondo caso la scheda Jetson Nano è connessa via un link Ethernet cablato al PC del veicolo che opera da router, concentrando i dati prima di inviarli alla Smart Road. Ciò per realizzare una maggiore flessibilità del sensore quando alloggiato a bordo di veicoli che non prevedano la comunicazione con la Smart Road.

Sistema di misura degli inquinanti

Il sistema di misura degli inquinanti è stato montato all'interno del rack posteriore che alloggia il PC di bordo del veicolo. Il suo sensore GPS è montato all'esterno, superiormente al rack. Anche questo sensore è in grado di poter operare in modalità indipendente, dialogando direttamente con la Smart Road, oppure passando attraverso il PC del veicolo, ricalcando una configurazione simile a quella del sensore precedente. Nella presente implementazione, è il PC di bordo che si occupa della lettura ed invio dei dati a CIPCast-ER.

2.1.1.2 Test operativi del veicolo nel sito di prova

Come detto precedentemente i test operativi nel sito di prova necessitano di una serie di attività prodromiche che sono brevemente descritte di seguito.

- Calibrazione laser-telecamere
- Calibrazione angolo di sterzo-raggio di curvatura
- Descrizione della BePosLAN

A valle di queste attività il veicolo è provato in modalità di teleguida.

Calibrazione laser – telecamere

La guida autonoma si basa su informazioni accurate sull'ambiente per prendere decisioni adeguate riguardo alla traiettoria del veicolo. I moduli di alto livello ricevono questi dati dai sistemi di percezione, che devono essere quindi dotati di un buon grado di robustezza contro le variazioni di illuminazione. Di conseguenza, la progettazione di sistemi di percezione destinati ad applicazioni automobilistiche è attualmente orientata verso sistemi con diverse modalità sensoriali complementari. I sistemi di visione sono frequenti nelle configurazioni dei veicoli vicini al mercato per la loro facilità di integrazione e la loro capacità di fornire informazioni. Sistemi di stereo-visione, che utilizzano una coppia di telecamere separate da una distanza fissa per ottenere informazioni di profondità sull'ambiente sono in grado di fornire informazioni 3D dense aggiuntive per la modellazione dei dintorni del veicolo.

Negli ultimi anni, su di un altro versante, il notevole sviluppo della tecnologia di scansione laser 3D ha consentito il suo uso diffuso sia nella ricerca che nelle applicazioni di guida. A differenza dei sistemi di visione, le misurazioni del Lidar sono accurate e, spesso, forniscono informazioni sui 360°.

Per le particolari caratteristiche di queste due tecnologie sensoriali, esse sono adatte a far parte dello stesso sistema di percezione, fornendo informazioni complementari. E' ovviamente necessario che i dati dei diversi sensori siano opportunamente combinati prima dell'utilizzo facendo uso di tecniche di fusione. Nella configurazione più comune, i sensori hanno campi visivi sovrapposti, ed i vantaggi conferiti dal loro uso combinato derivano dalla capacità di fare corrispondere le due rappresentazioni dei dati.

Per ottenere questa corrispondenza è necessario compiere una calibrazione tra i dati di distanza del Lidar e quelli visivi delle telecamere per determinarne le posizioni ed orientamenti relativi. Si è utilizzato un approccio, descritto in [3], che utilizza un particolare bersaglio unico riconoscibile ad entrambe le tecnologie. Il bersaglio è mostrato in Figura 2.

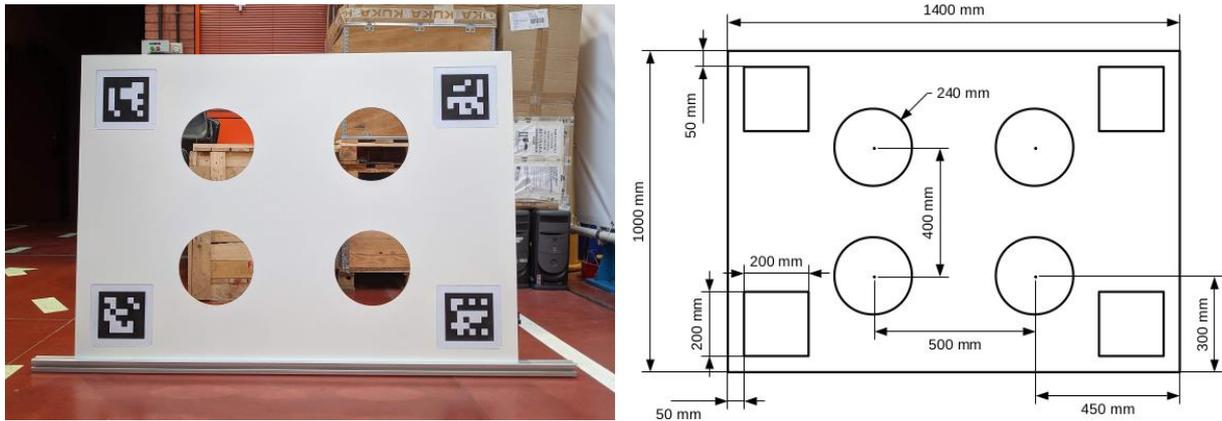


Figura 2. Il bersaglio utilizzato per la calibrazione del sistema Lidar-telecamere

Esso presenta sia dei marker visuali (marker ArUco) nei quattro angoli, che dei marker di distanza rappresentati da quattro cerchi vuoti. I marker ArUco sono riconosciuti dalle telecamere, mentre il Lidar è in grado di vedere i quattro fori nel proprio segnale 3D. In Figura 02 è mostrato il segnale Lidar relativo al bersaglio di Figura 01. L’algoritmo di calibrazione ricostruisce la posa (posizione ed orientamento) delle telecamere rispetto alla posizione dei quattro marker ArUco e, contemporaneamente, la posizione ed orientamento del Lidar rispetto ai quattro fori di cui misura le caratteristiche geometriche. Per compiere ciò è necessario che i fori siano attraversati da almeno due linee di scan dello strumento in modo da poter individuare almeno 4 punti della circonferenza. Una volta note le posizioni relative tra marker e fori nel bersaglio è possibile ricostruire la trasformazione geometrica che porta dalle posizioni delle telecamere a quella del Lidar.

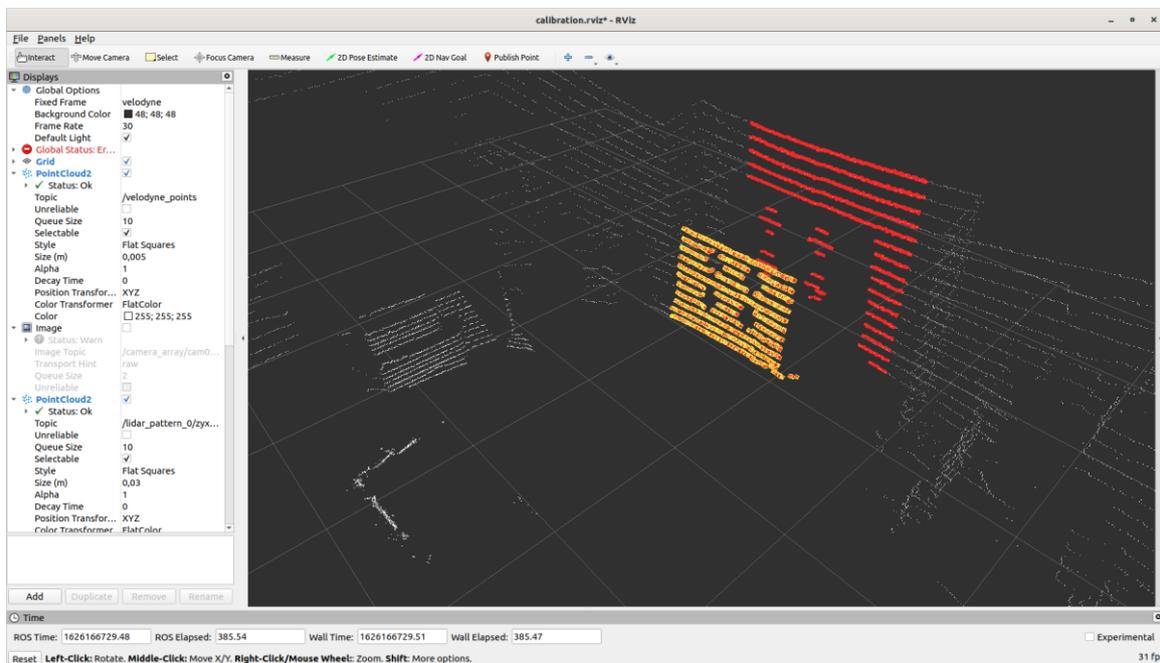


Figura 3. Il segnale Lidar relativo al bersaglio con i quattro fori circolari, in giallo il bersaglio ed in rosso la parete retrostante, in grigio altri elementi dell’ambiente influenti sul processo di calibrazione

Questo processo di calibrazione è stato ripetuto alcune volte per controllare l'attendibilità dei risultati. Naturalmente, qualora i sensori venissero mossi, sarà necessario ripetere la calibrazione.

Calibrazione e studio angolo di sterzo vs raggio di curvatura (fit)

In questa attività si è studiato sperimentalmente la funzione che lega l'angolo misurato allo sterzo e l'angolo delle ruote ed il conseguente raggio di curvatura della traiettoria. In particolare qui si riporta lo studio relativo alla curva verso sinistra, essendo quello relativo alla curva verso destra uguale a meno del segno. Nel grafico in Figura 4 è mostrato l'angolo di sterzo in funzione dell'angolo di curvatura delle ruote.

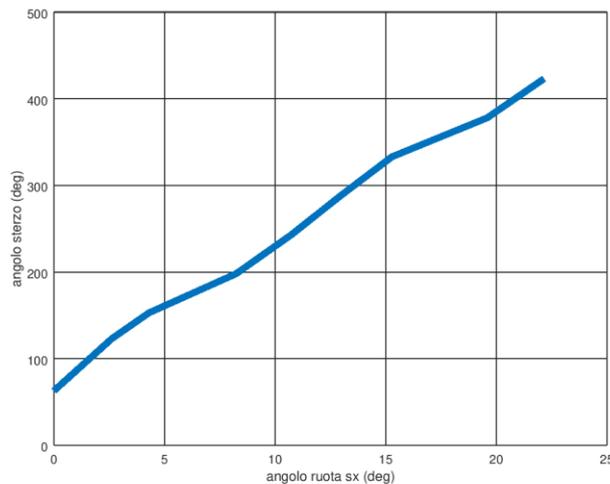


Figura 4. La funzione che lega angolo della ruota con l'angolo dello sterzo

Quest'ultimo è stato misurato geometricamente mentre l'angolo di rotazione dello sterzo è stato letto, invece, direttamente da un sensore montato sul piantone di sterzo. Gli angoli dello sterzo possono superare i 360° in quanto il volante può effettuare più giri durante l'attuazione delle ruote. Dal grafico è chiaro come la relazione tra l'angolo di sterzo e quello delle ruote sia lineare e che esista un offset di circa 63°. Una volta confermata la linearità di questa funzione è stato misurato il raggio di curvatura della traiettoria in funzione dell'angolo di sterzo del veicolo. Si ricorda che il raggio di curvatura è la misura del raggio della circonferenza percorsa dal veicolo in curva mantenendo fermo il volante in una data posizione. Nel caso di curve strette il raggio di curvatura sarà piccolo, via via crescendo fino a diventare infinito nel caso di traiettorie diritte.

La legge che lega l'angolo di sterzo con il raggio di curvatura è, nel caso di un veicolo con 4 ruote sterzanti simmetriche e semplificato nel cosiddetto modello a bicicletta, ovvero come avesse solamente due ruote, è:

$$R \propto \frac{l}{2 \tan \delta}$$

Dove l è il passo del veicolo, ovvero la distanza tra mozzo della ruota anteriore e posteriore e δ è l'angolo delle ruote; si veda la Figura 5.

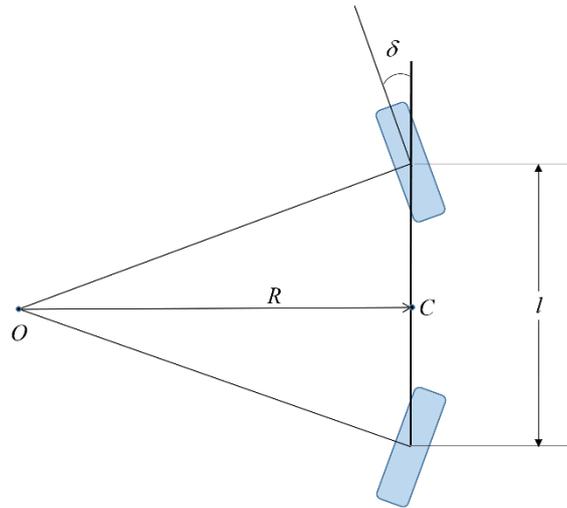


Figura 5. La geometria del modello con ruote sterzanti simmetriche

In Figura 6 è invece mostrato il fit dei valori sperimentali con una curva interpolante utilizzata poi nel software del veicolo per implementare la funzione sterzo – raggio di curvatura.

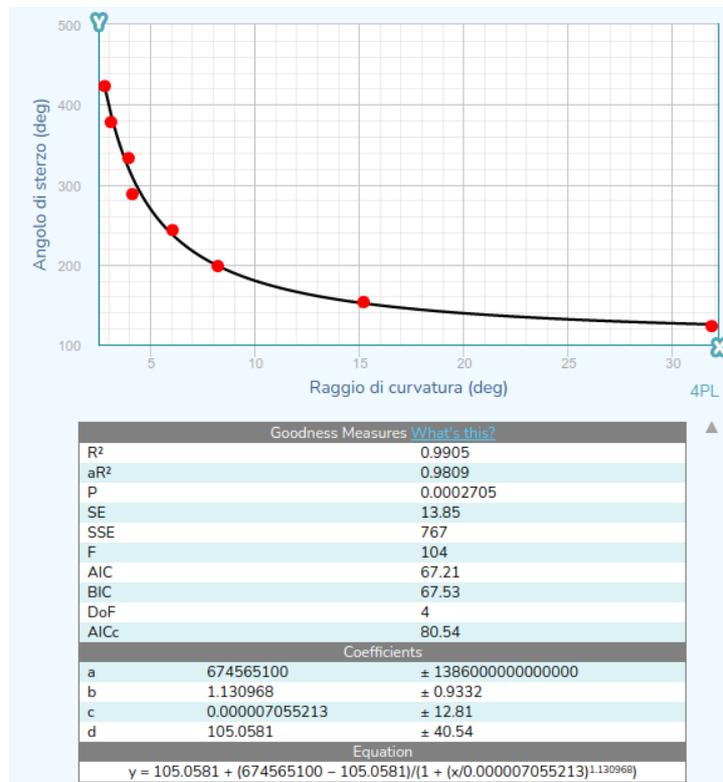


Figura 6. Il fit dei dati sperimentali

Descrizione della rete informatica di bordo BePosLAN

Per rendere più chiara l'architettura generale del veicolo è opportuno descrivere la rete informatica realizzata a bordo e la sua interconnessione con i vari device presenti a bordo.

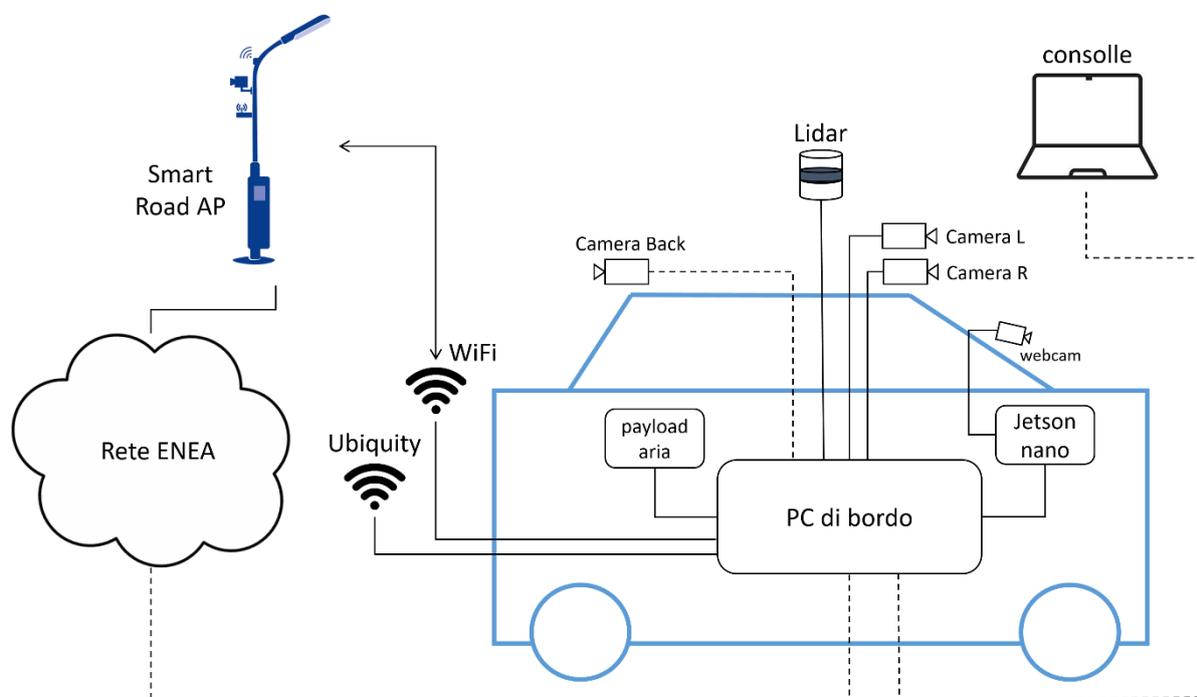


Figura 7. La rete informatica di bordo BePosLAN

In Figura 7 è mostrata la rete informatica di bordo (BePosLAN) e la sua connessione alla Smart Road. La BePosLAN è incentrata sul PC di bordo (un PC fanless CQ70 della britannica In-carPC [INCARPC], specializzata in computer di bordo ad alte prestazioni) a cui sono connessi i vari device con una topologia a stella. Nella Figura sono presenti due tipi di connettori: continui e tratteggiati; le linee tratteggiate sono relative a connessioni non al momento implementate oppure temporanee. Quest'ultime sono rappresentate dal collegamento verso una console che durante la fase operativa ovviamente non viene utilizzata e da un'eventuale connessione cablata diretta alla rete ENEA, per interventi di manutenzione e programmazione.

Alle porte GigaBit Ethernet del PC sono connesse due telecamere di una coppia stereoscopica, puntate in avanti visibili in Figura 1; il Lidar; il payload per la misurazione degli inquinanti; il sistema di rivelazione di difetti del manto stradale, implementato su Jetson Nano; un ponte radio Ubiquity per una eventuale teleguida; una connessione WiFi con gli Access Point della Smart Road.

In configurazione operativa il PC di bordo funge da concentratore di tutti i dati provenienti dal veicolo e dai sensori montati a bordo, da trasmettere alla Smart Road. La trasmissione avviene attraverso la connessione WiFi con gli Access Point montati su alcuni dei lampioni stradali della Smart Road. Questi ultimi sono poi connessi con la rete informatica dell'ENEA all'interno della quale è presente il DSS CIPCast-ER che riceve i dati, li registra ed elabora.

Il ponte radio Ubiquity in modalità punto-punto viene utilizzato quando si voglia teleoperare il veicolo, in modo da ridurre al minimo le latenze di trasmissione, sicuramente di maggiore entità qualora si utilizzassero gli access point della Smart Road.

2.1.1.3 Prove di teleguida con joystick, joypad e volante-pedaliere

Il progetto prevede, oltre alla messa in opera di comportamenti autonomi per il veicolo, anche la possibilità di teleguida. Per teleguida si intende l’operatività remota del veicolo, sulla base delle informazioni da esso trasmesse, da parte di un operatore.

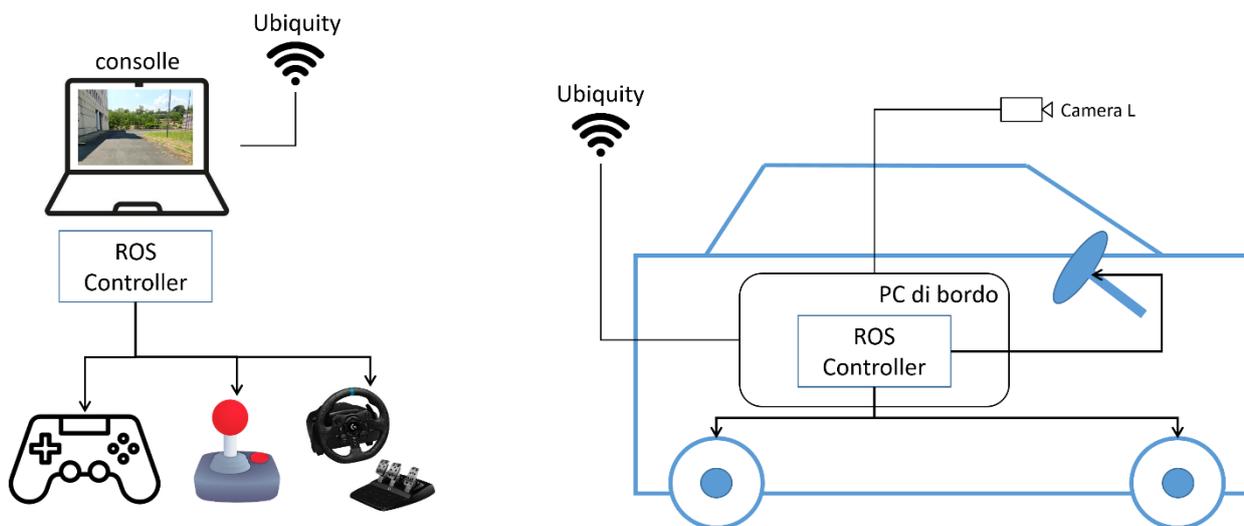


Figura 8. Il sistema di teleguida. A sinistra la console dell’operatore con i device di input; a destra il veicolo controllato

Si è realizzato un sistema di teleguida basato sulle immagini raccolte da una delle telecamere anteriori. Il sistema si basa sull’uso di una interfaccia con l’operatore che permette il controllo di un nodo ROS, che a sua volta attua lo sterzo e l’acceleratore del veicolo, si veda la Figura 8.

Il nodo ROS di controllo degli attuatori del veicolo viene eseguito sul PC di bordo e comunica tramite porta seriale con due centraline elettroniche di basso livello. La prima gestisce il controllo di velocità e l’interazione con il CAN bus del veicolo: riceve dal PC di bordo, tramite seriale, comandi di velocità, li elabora ed invia i risultanti messaggi via CAN bus alle centraline deputate al controllo diretto dei motori. La seconda centralina è invece responsabile del controllo dello sterzo e del freno: riceve i relativi comandi tramite seriale e comanda conseguentemente gli attuatori.

L’interfaccia per l’operatore è controllata da un secondo nodo ROS che gira localmente su di un laptop di console controllando il dispositivo di input utilizzato. I due nodi sono poi connessi via internet tramite il citato link radio Ubiquity.

Sono state considerati ed utilizzati tre diversi dispositivi di input: è possibile controllare remotamente il veicolo tramite un joystick, un joypad ed una coppia volante-pedaliere.



Figura 9. Il veicolo in teleoperazione, l'operatore è visibile in alto sulla sinistra mentre controlla il veicolo con volante e pedaliera

In Figura 9 è mostrato un fotogramma di uno degli esperimenti in cui il veicolo era controllato dall'operatore, visibile sulla sinistra, con volante e pedaliera. Nell'immagine è anche visibile l'antenna Ubiquity che garantisce le comunicazioni, vicino all'operatore.

Sono state effettuate sperimentazioni con tutte e tre le interfacce e quella risultata migliore, in termini di usabilità e feeling con il veicolo, è stata la coppia volante-pedaliera.

2.1.1.4 Campagna di raccolta dati per la localizzazione e la ricostruzione dello spazio

Tra le attività compiute nell'annualità ne sono presenti anche alcune non direttamente relative agli obiettivi di questa Linea di Attività, ma che sono invece di supporto ad altre Linee di Attività. In particolare con quelle del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia.

Una volta realizzata la calibrazione tra telecamere e Lidar, precedentemente presentata, è stata compiuta una campagna di acquisizione dati con il veicolo lungo la Smart Road e nelle sue vicinanze. Lo scopo di questa campagna era fornire al Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia dati reali sui quali provare gli algoritmi di localizzazione e di ricostruzione di scena di loro competenza.

Tale scopo è stato perseguito utilizzando le funzionalità di ROS (Robot Operating System) di poter registrare nei cosiddetti bag file tutti i dati prodotti dai vari nodi in esecuzione, per poi poterli riprodurre a piacimento in modalità *off-line*.

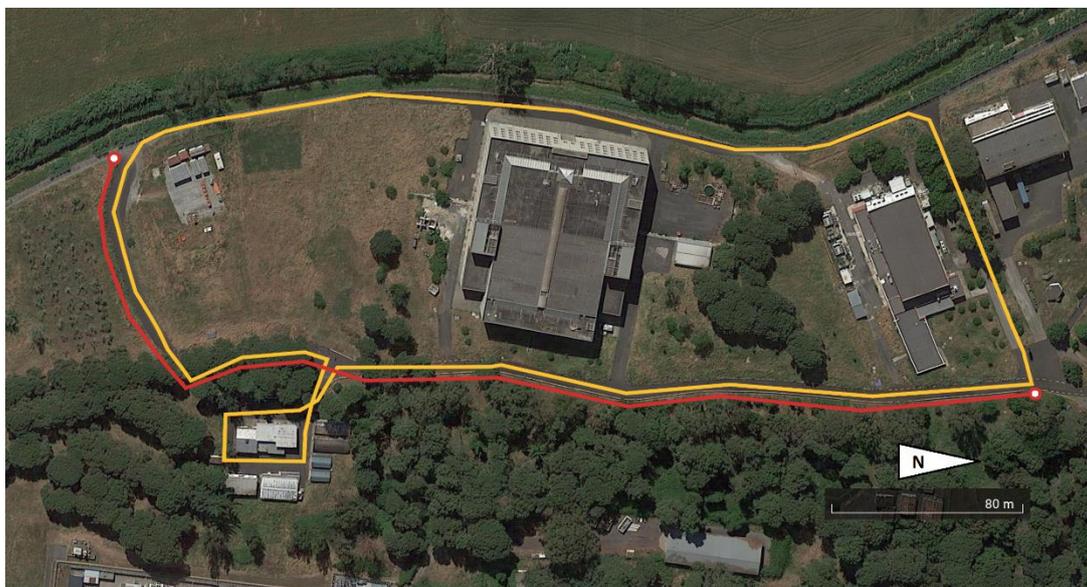


Figura 10. Il tracciato seguito nella campagna sperimentale (giallo) e la Smart Road (rosso)

In Figura 10 è mostrato in giallo il tracciato seguito dal veicolo durante la raccolta dati ed in rosso il percorso della Smart Road. E' evidente come questo tracciato sia fondamentale composto da due anelli chiusi, uno piccolo in basso a sinistra ed uno grande intorno all'edificio F-65. Questa scelta ha permesso di controllare se gli algoritmi forniti dall'Università di Perugia fossero in grado di compiere la cosiddetta chiusura di *loop*, ovvero la capacità di comprendere che un dato percorso fosse già stato visto e, di conseguenza realizzare la chiusura della traiettoria aggiustando opportunamente la mappa.

I dati raccolti nei bag file sono stati:

- le immagini dalla coppia di telecamere anteriori;
- le misure di distanza dal Lidar (nuvole di punti);
- la posizione dal GPS;

- le accelerazioni e gli orientamenti dall'IMU (Inertial Measurements Unit) di bordo;
- la direzione di marcia dalla bussola.

In Figura 11 è mostrata un'immagine della ricostruzione dell'ambiente da parte degli algoritmi dell'Università di Perugia utilizzando questi dati. I diversi colori rappresentano le diverse altezze da terra dei punti misurati.

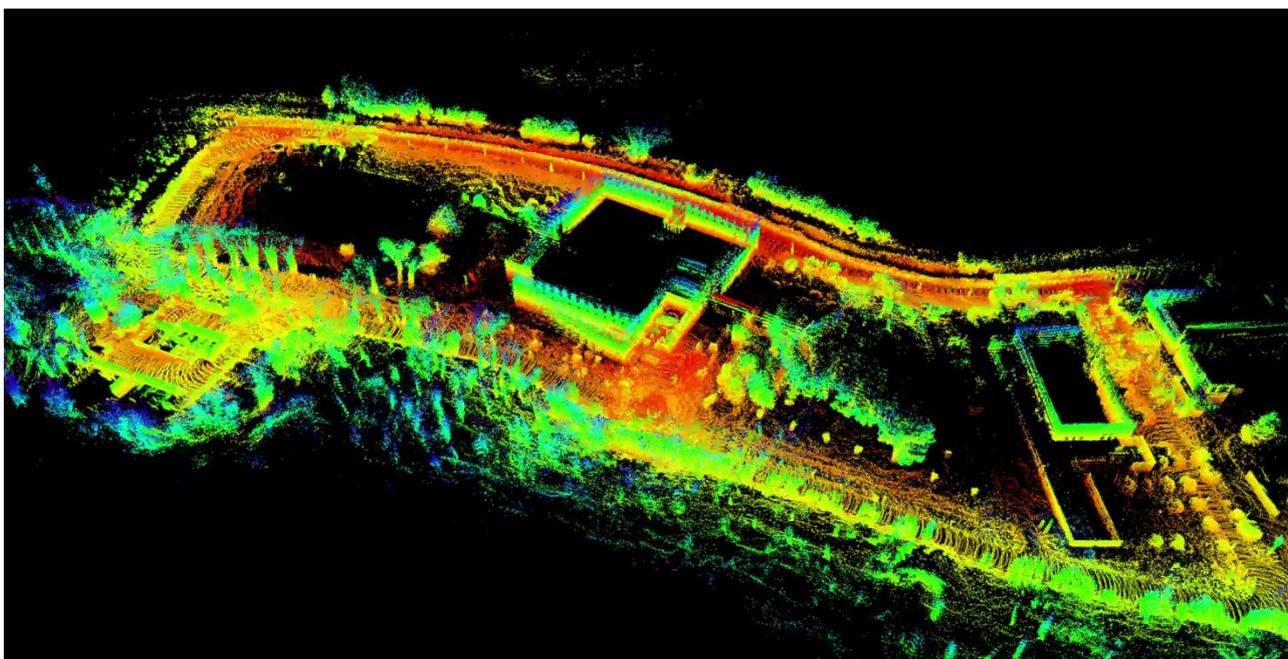


Figura 11. Esempio della ricostruzione ottenuta con i dati raccolti nella campagna sperimentale

2.1.2 Test dei sensori in condizioni operative con trasmissione al CIPCast-ER in tempo reale

Una volta configurati gli access point si è provata la funzionalità del sistema complessivo, operando i sensori e inviando le misure al CIPCast-ER in tempo reale.

Sono stati utilizzati entrambi i sensori: quello chimico atmosferico ed il rilevatore di difetti del manto stradale. I dati sono stati inviati utilizzando un messaggio JSON, valorizzandone opportunamente i campi, tramite chiamate di tipo REST.

I dati così inviati sono stati registrati da CIPCast-ER e resi disponibili sulla interfaccia GIS per il display e per eventuali successive elaborazioni. Maggiori dettagli nella sezione dedicata alla descrizione delle attività riguardanti il sistema CIPCast-ER.

2.1.3 Realizzazione di un nodo ROS per la pubblicazione dei dati propriocettivi

Oltre ai dati provenienti dai sensori (dati esteroceettivi) il veicolo mette a disposizione di CIPCast-ER anche dei dati di natura propriocettiva, cioè concernenti il veicolo ed il suo stato. Questi dati sono rappresentati da: latitudine, longitudine, altitudine, velocità, direzione, consumi correnti, stato di carica.

Per realizzare la comunicazione di tali dati e la ricezione di dati provenienti da CIPCast-ER quali possibili allarmi legati a fenomeni globali esterni al veicolo è stato realizzato un nodo ROS che legge questi dati dal veicolo e li indirizza verso CIPCast-ER codificandoli all’interno del messaggio JSON anzidetto e tramite chiamate di tipo REST. Maggiori dettagli nella sezione dedicata alla descrizione delle attività riguardanti il sistema CIPCast-ER.

2.1.4 Attività sulla infrastruttura stradale

In questo terzo anno di attività è stata realizzata l’infrastruttura Smart Road a supporto e interazione con un veicolo a guida autonoma anch’esso sviluppato in questo progetto. Con questa infrastruttura è stato visto come le tecnologie digitali della Smart Road permettano l’interazione e lo scambio di informazioni tra persone, sistemi, servizi, attori diversi e più in generale “oggetti”, tra cui i veicoli.

Le nuove tecnologie già assistono i guidatori in molti compiti e rappresentano un comodo ausilio per la sicurezza ed il comfort di guida. La tendenza è verso una progressiva sostituzione tecnologica del ruolo del guidatore quale mediatore tra veicolo e infrastruttura, nonché nel compito di reazione e controllo rispetto alle informazioni provenienti sia dall’ambiente interno (veicolo) sia dall’ambiente esterno (strada e traffico).

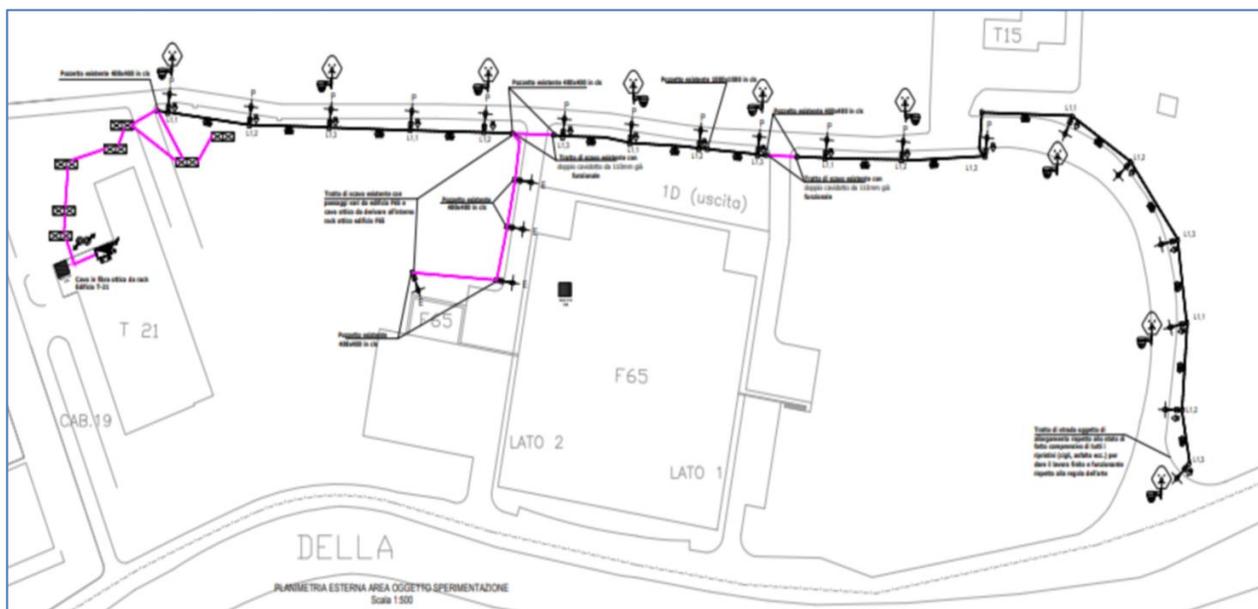


Figura 12. Progetto della Smart Road con i 22 pali della illuminazione pubblica

2.1.4.1 Infrastruttura fisica

La Smart Road realizzata nel Centro Ricerche Casaccia dell’ENEA fa uso dei pali di sostegno già esistenti della illuminazione pubblica con notevole vantaggio dal punto di vista dei costi e della logistica. In Figura 12 è mostrato il progetto della Smart Road dove sono evidenziati i 22 pali, 18 lungo la strada e 4 nella strada senza uscita che serve l’edificio F65 e il cavidotto che li serve.



Figura 13. Particolare dei 4 pali presso l'edificio F65

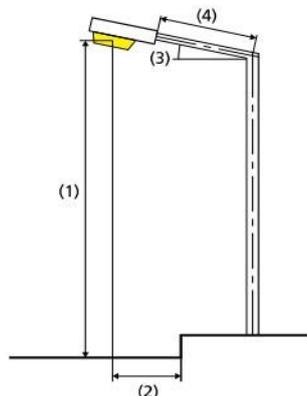
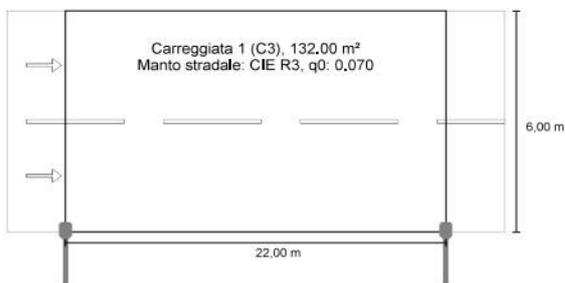
In Figura 13 è mostrata la parte di Smart Road preso l'edificio F65. Su ogni palo di sostegno è stato installato un nuovo corpo illuminante con tecnologia led della AEG con le seguenti caratteristiche:

- Modello: ITALO 1 0F3 STE-M 4.5 3M
- Indice di resa cromatica: CRI70 CL.2
- Interfaccia: ZHAGA SUPERIORE CON SPD Vin E1 525mA
- Attacco: TP Ø60
- Colore: GRIGIO SATINATO SEMILUCIDO 2B
- Driver LED: DALI

e con i parametri illuminotecnici della installazione come riportati in Figura 14.

Smart Road Casaccia in direzione EN 13201:2015

ITALO 1 0F3 STE-M 4.5 3M CRI70 CL.2-DALI-57W-8850Lm-E1-525mA (power LED 4000K)



Risultati per i campi di valutazione
Fattore di diminuzione: 0.67

Carreggiata 1 (C3)

Em [lx] ≥ 15.00	Uo ≥ 0.40	TI [%] ≤ 20
✓ 18.11	✓ 0.50	✓ 18

Risultati per gli indicatori dell'efficienza energetica

Indice della densità di potenza (Dp)	0.025 W/lx·m²
Densità di consumo energetico	
Disposizione: ICONA-S-60W-4070-A4 (240.0 kWh/anno)	1.8 kWh/m² anno

Lampadina:	1xHI power LED 4000K CRI >70
Flusso luminoso (lampada):	7847.26 lm
Flusso luminoso (lampadina):	9570.00 lm
Ore di esercizio	
4000 h:	100.0 %, 60.0 W
W/km:	2700.0
Disposizione:	su un lato sotto
Distanza pali:	22.000 m
Inclinazione braccio (3):	15,0°
Lunghezza braccio (4):	1.500 m
Altezza fuochi (1):	6.000 m
Sporgenza punto luce (2):	0.000 m

Figura 14. Parametri illuminotecnici

2.1.4.2 Rete mesh e programma di gestione dell'impianto AUGE G4

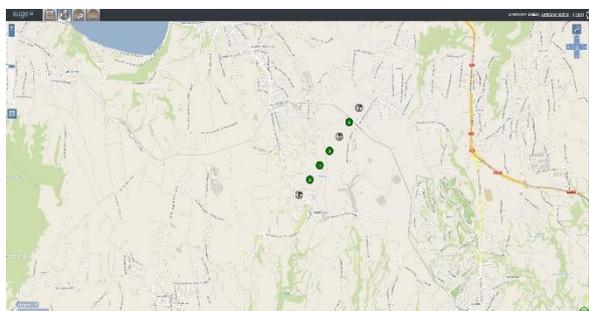
Ogni corpo illuminante è dotato di un connettore Zhaga dove è connesso che è un dispositivo di collegamento wireless su frequenza 868 MHz: il P5. Tutti i corpi illuminanti dotati di dispositivo P5 sono collegati tra di loro e con un concentratore MC22 a formare una rete mesh. Il concentratore a sua volta può essere connesso alla LAN o alla rete GPRS, nel presente caso alla rete LAN del Centro Ricerche Casaccia, si veda Figura 15.



Figura 15. La rete mesh che connette in wireless i corpi illuminanti col MC22

Per la telegestione dell'impianto di illuminazione ci siamo avvalsi del programma AUGÉ G4 sviluppato dalla ditta Algorab (<https://www.algorab.com/auge-g4-2/>).

Auge G4 è un software per la gestione dei punti luce, ma, allo stesso tempo, è uno strumento con il quale gestire ogni genere di applicazione telecontrollata nell'ambito IoT (Internet of Things). Tramite questo software è possibile gestire l'illuminazione pubblica, edifici intelligenti, industrie, acquedotti, sensori di vario genere, ripetitori, etc.. Il software permette di archiviare informazioni e documenti specifici per ogni risorsa gestita dell'impianto, dalle caratteristiche del prodotto, ai manuali tecnici, agli schemi elettrici, ai certificati di conformità etc. Gli apparecchi da illuminazione possono essere assegnati a gruppi in funzione della loro applicazione. Ogni gruppo potrà avere un profilo di dimmerazione differente. I profili possono essere programmati secondo cadenze personalizzate. Tutti i dati immagazzinati dal software possono essere facilmente analizzati, si veda la Figura 16. Il sistema permette di gestire la manutenzione, programmare interventi periodici o aprire attività di riparazione a seguito di segnalazione di anomalie. Gli allarmi possono essere veicolati tramite e-mail a destinatari specifici.



(a)



(b)

Figura 16. Esempi di elaborazioni con AUGÉ G4: (a) posizione georeferenziata corpi illuminanti e sensori; (b) consumo energetico del singolo lampione

2.1.4.3 Sistema telecamera TAI-FAI conteggio flusso veicoli

Tra i sensori installati su pali è presente una telecamera, si veda la Figura 17, che rileva sia il passaggio dei veicoli che le condizioni meteo. La telecamera possiede capacità di elaborazione a bordo che permette l'elaborazione di queste due quantità fornendo in uscita un parametro per la dimmerazione dei corpi illuminanti. E' questo il significato degli acronimi TAI e FAI. Il primo, *Traffic Adaptive Installation*, si riferisce alla capacità di dimmerare le luci in funzione del traffico veicolare nella scena; il secondo, *Full Adaptive Installation*, aggiunge al TAI la possibilità di dimmerare l'illuminazione anche in funzione delle condizioni meteo analizzate tramite la misura di luminanza ambientale.

La geometria dell'installazione prevede che la telecamera TAI-FAI possa inquadrare un'area fra 2 lampioni consecutivi alla distanza di circa 60m. In Figura 18 è schematizzata un'installazione con vista dall'alto. La telecamera è stata montata in modo orizzontale poiché il sensore interno è volutamente montato inclinato di un angolo noto. L'area di interesse deve essere all'interno del campo visivo inquadrato dalla telecamera. La normativa vigente prevede il montaggio della telecamera TAI-FAI a 5,5 m dal piano stradale.



Figura 17. Telecamera TAI - FAI

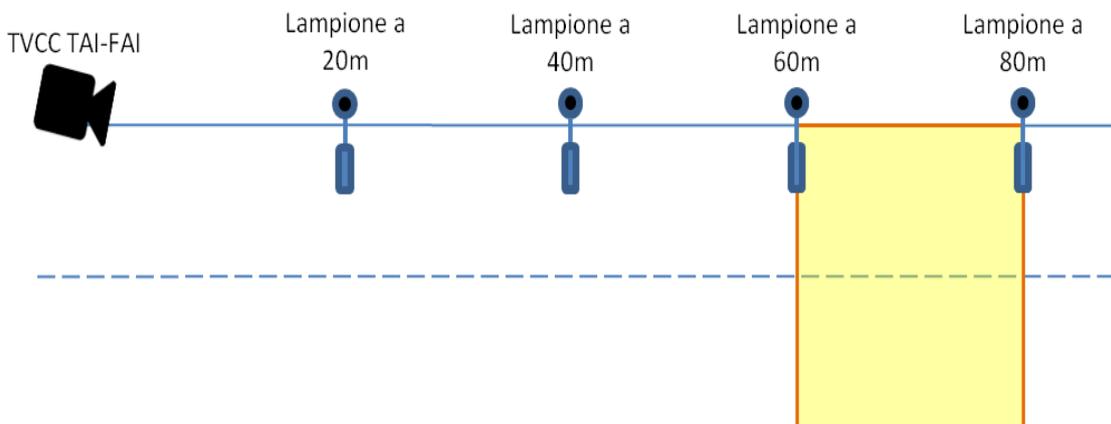


Figura 18. Vista in pianta di una tipica installazione

È necessario configurare l'area di interesse all'interno della quale la telecamera effettuerà la misurazione di luminanza. Tale impostazione è configurabile tramite il programma fornito *UtilRoadLighting*. Per ottenere una giusta inquadratura è necessario agire direttamente sul posizionamento della telecamera.

La zona di valutazione della luminanza deve essere scelta selezionando un'area fra 2 lampioni ad una distanza minima di circa 60 metri. La zona è visualizzata tramite un poligono di colore rosso e sono necessari 4 punti per la sua impostazione. I vari punti da specificare con il pulsante sinistro del mouse direttamente sull'immagine ripresa dalla telecamera e mostrata nel software. Ad esempio in Figura 19, in rosso è mostrato il poligono dove verrà letta la luminanza. Perché i punti del poligono vengano salvati è necessario impostarli tutti e 4 in modo consecutivo, in senso orario.



Help

La Zona di Valutazione della Luminanza deve essere scelta selezionando un'area fra 2 lampioni ad una distanza minima di circa 60 metri. La zona è visualizzata tramite un poligono di colore rosso e sono necessari 4 punti per la sua impostazione.

La Zona di Valutazione di rilevamento dei Veicoli è necessaria per eliminare zone in cui sicuramente non passeranno veicoli e migliorare l'efficienza dell'algoritmo di rilevazione. La zona è visualizzata come un rettangolo blu e sono necessari 2 punti per la sua impostazione.

La linea di passaggio dei veicoli è necessaria per determinare il verso del passaggio dei veicoli per discriminare la direzione del passaggio. La linea è visualizzata tramite una linea di colore viola e sono necessari 2 punti per la sua impostazione.

Figura 19. Posizionamento della zona di luminanza (poligono in rosso), della linea di passaggio veicoli (in violetto) e della zona passaggio veicoli (in blu)

La zona di valutazione di rilevamento dei Veicoli (Figura 19, in blu) è necessaria per eliminare zone in cui sicuramente non passeranno veicoli e migliorare quindi l'efficienza dell'algoritmo di rilevazione. La zona è visualizzata come un rettangolo blu e sono necessari 2 punti per la sua impostazione.

Oltre alla predetta zona, è necessario anche impostare la linea di passaggio dei veicoli. Essa è necessaria per determinare il verso del passaggio dei veicoli discriminando la direzione del passaggio. La linea è visualizzata tramite una linea di colore viola e sono necessari 2 punti per la sua impostazione.

2.1.4.4 Sensoristica

Oltre alle telecamere i pali della Smart Road alloggiavano alcuni sensori di tipo ambientale ed in particolare sensori di CO₂, PM10 e PM2.5 e sensori di rumore ambientale. In Figura 20 sono mostrati installati su uno dei pali per una prima fase di sperimentazione.



Figura 20. I sensori ambientali montati su palo

2.1.5 Installazione e configurazione dell'Access Point esterno per la comunicazione col veicolo

La Smart Road dialoga con il veicolo attraverso una connessione WiFi fisicamente realizzata da tre access point montati sui pali dell'illuminazione. Gli access point individuati sono dei RUKUS che, naturalmente, devono essere stati opportunamente configurati allo scopo di permettere tale dialogo ed evitare intrusioni da parte di utenti non abilitati.

2.2 Smart Cool Place

L'attività svolta nella presente annualità è stata pesantemente vincolata al perdurare delle restrizioni e dell'emergenza causata dalla pandemia dovuta a virus COVID19, che ha causato la rimodulazione delle attività negli anni 2020 e 2021. Diversi temi della presente linea di attività sono stati anticipati nel report *Sviluppo di applicazioni per il monitoraggio della qualità e l'analisi sicurezza delle infrastrutture urbane (RdS/PTR(2020)/024)* relativo alla linea di attività LA.37 del Piano Triennale 2019/21 dell'Accordo di programma ENEA-MiSE Ricerca di Sistema Elettrico. Si trattava in particolare degli aspetti legati alla progettazione tecnico-economica dei manufatti urbani e alla relazione tra performance di mitigazione del sistema e condizioni microclimatiche al contorno. Come già indicato nel su menzionato rapporto, è stato in buona parte invertito il contenuto di LA.37 e LA.38, al fine di salvaguardare quanto più possibile le attività complessive da svolgere nel contesto pandemico.

Come già indicato preannunciato nel report ENEA del 2020, nel corso del 2021 è stato dunque possibile condurre l'attività dimostrativa in campo ma non nella sede inizialmente pianificata, ossia presso la sede del Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura (PDTA) dell'Università La Sapienza in Via Flaminia nel centro di Roma, bensì presso il Centro Ricerche Casaccia di ENEA, nella periferia nord di Roma. La situazione emergenziale e le restrizioni presso ENEA non ha permesso di condurre analisi soggettive sul comfort termico degli utenti; è stata quindi concertata e progettata comunemente un'azione di survey insieme allo staff Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM) dell'Università Politecnica delle Marche, per analisi di questo tipo che saranno incluse all'interno del report relativo a *LA1.39 - Servizi Urbani Energivori: Sistema di raffrescamento evaporativo per la mitigazione della temperatura dell'aria*.

L'applicazione in ENEA è stata sviluppata di concerto con i due Dipartimenti sopra indicati al fine di massimizzare la conoscenza sul tema e sulla tecnologia. Così, mentre il Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche dell'Università Politecnica delle Marche ha sviluppato e realizzato un prototipo leggero e flessibile, nonché posizionato in campo aperto per facilitare campagne di misura parametriche, per l'applicazione in ENEA si è scelta una soluzione più protetta, tendente come concetto agli spazi *semi-enclosed*, in linea con lo sviluppo progettuale indirizzato da PDTA, come sommariamente indicato nel report enea relativo alla precedente annualità.

2.2.1 Descrizione dell'installazione

In questa sezione sono descritti i contenuti principali dell'installazione del sistema evaporativo nel suo complesso. Si ricorda brevemente che l'installazione consta dei seguenti blocchi:

- Griglia di nebulizzatori alimentati dal gruppo pompa
- Il gruppo pompa alimentato direttamente dalla rete elettrica o dall'impianto PV
- Impianto PV con inverter
- Sensoristica di campo posta sotto la griglia dei nebulizzatori
- Sensoristica di campo al di fuori della zona controllata per fornire dati di confronto

2.2.1.1 Descrizione del sito

L'installazione ha avuto luogo nel piazzale antistante l'edificio C III 30 del Centro Ricerche Casaccia di ENEA. Facendo riferimento all'immagine in Figura 21 che riprende il campo da sud-ovest verso nord, il sistema di nebulizzazione è stato installato sotto la tettoia, con dettagli indicati alle successive sezioni, mentre il capannone adiacente è stato utilizzato per posizionare in modo protetto: il gruppo pompa, l'inverter dell'impianto fotovoltaico e il sistema di controllo e raccolta dati.



Figura 21. Vista del campo sperimentale da sud-ovest



Figura 22. Vista del campo sperimentale da nord verso sud



Figura 23. Vista del campo sperimentale da nord verso est (sinistra) e ovest. Si evidenzia la presenza di alberi ad alto fusto che limitano l'accesso alla radiazione solare in prossimità delle ore di alba e tramonto.

I pannelli solari sono stati posizionati al centro del piazzale, come si evince da Figura 22; questi ricevono ben irraggiati per buona parte della giornata durante la stagione estiva, risultando però parzialmente ombreggiati dagli alberi ad est ed ovest nelle ore prossime all'alba e al tramonto, come evidenziato dalle due immagini in Figura 23.

Tabella 1. Configurazioni del sistema evaporativo identificate per lo studio sperimentale

Griglia	Passo (cm)	Numero linee (-)	Numero ugelli per linea (-)	Numero ugelli totali (-)
1	130	4	7	28
2	100	5	6	30

2.2.1.2 Descrizione del sistema di nebulizzazione

Il sistema di nebulizzazione è stato realizzato utilizzando ugello *Eurocooling* in acciaio inox con foro 0.20 mm 10/24" e corpo in ottone nichelato, ripulibile e con anti goccia, il quale viene inserito in un raccordo porta-ugello innesto rapido 1/4" x 10/24". Il sistema di ugelli è collegato alla pompa con un tubo di poliammide da 1/4". Dettagli visivi dell'ugello sono riportati in Figura 24, prima dell'installazione e al termine della campagna di misura. Si noti in quest'ultimo caso il deposito di materiale calcareo, che, non

nel presente monitoraggio, ma nel caso di funzionamento prolungato può causare una riduzione del potere evaporativo se non la completa otturazione dell'ugello medesimo.

La griglia di sensori è stata realizzata poggiando dei profilati in alluminio a sezione quadrata (50x50mm) sulla catena della capriata, che sorregge la copertura in lamiera ondulata della tettoia, quindi serrandoli con fascette metalliche. I profilati sono disposti nel senso della lunghezza della tettoia, come evidenziato in Figura 25. Attraverso un sistema di raccordi a T e ad angolo, il tubo di poliammide in uscita dalla poma è stato ripartito sulle linee di alimentazione; lungo ogni linea, il tubo, con gli ugelli opportunamente distanziati, è stato quindi fissato ai profilati metalli con fascette di plastica, con particolare attenzione al bloccaggio dell'ugello per evitarne spostamenti e rotazione durante la fase di nebulizzazione, come si evidenzia dal dettaglio in Figura 24. In questo studio distanziando opportunamente le linee di alimentazione e la distanza tra gli ugelli, sono state analizzate due configurazioni, una griglia quadrata con passo 130 cm e, successivamente, con griglia sempre quadrata da 100 cm.

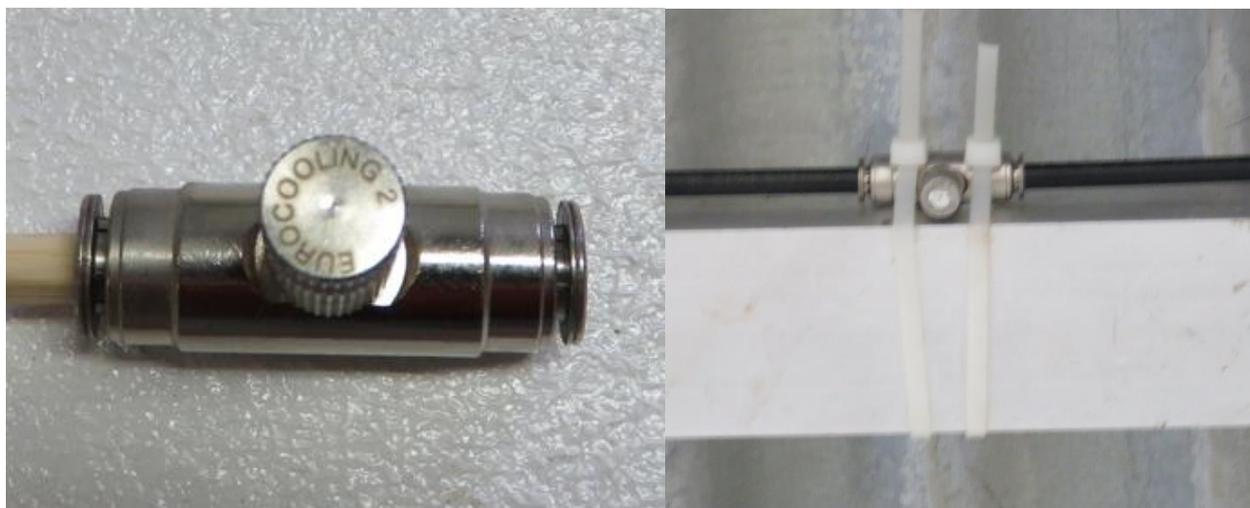


Figura 24. Dettaglio dell'ugello nuovo (sinistra) e al termine della campagna di misura



Figura 25. Installazione del sistema di nebulizzatori e relativo supporto con profilati in alluminio

L'impianto è alimentato da una pompa con portata da 3 litri al minuto, con acqua alla pressione di 70 bar. La pompa, funzionante a 230V/50Hz monofase ha un assorbimento elettrico costante di 600 W ed è dotata di una centralina completa di controllo, che include la temporizzazione ciclica dell'erogazione idrica. Il circuito idrico è completato da un sistema filtrante 1x9" - 3/4" con cartucce in *melt-blown* da 5 micron. Si riporta foto del gruppo pompa in Figura 26. Il gruppo pompa, come detto precedentemente, è stato posizionato all'interno del capanno, visibile alla destra di Figura 22.



Figura 26. Pompa di alimentazione idrica (sinistra) e data logger della sensoristica di campo e dell'impianto PV.



Figura 27. Dettaglio dei pannelli PV, a sinistra si possono notare i sensori di monitoraggio microclimatico esterno all'impianto di nebulizzazione: termo-igrometro, anemometro, globo-termometro

2.2.1.3 Descrizione dell'impianto fotovoltaico

Il sistema di nebulizzazione è stato integrato da un impianto di produzione di energia elettrica da fotovoltaico, per condurre analisi in regime di autonomia energetica, grazie anche alla presenza di accumulo elettrico. L'impianto è costituito dai seguenti elementi:

- Pannelli fotovoltaici in silicio policristallino: n°8 da 150W. I pannelli sono montati in 2 array da 4 elementi e montati su supporti inclinati verso sud con inclinazione di circa 30° rispetto alla giacitura orizzontale.
- Batteria con tensione a 12V: n°2 da 100°.
- Inverter stand-alone onda pura picco 1400VA. Come impostazione di funzionamento, è stata scelta quella di autoconsumo; in caso di esaurimento della carica delle batterie (comunque mai inferiore al 25%), l'alimentazione è deviata sulla rete elettrica.
- Regolatore di carica integrato nell'inverter.
- Quadro, sezionatori, protezioni.

Il posizionamento dei pannelli fotovoltaici al centro del piazzale è già stato illustrato in Figura 22; gli altri componenti del sistema sono stati posizionati per ragioni di protezione all'interno del capanno, visibile nella parte destra della Figura 22. Tutta la componentistica elettrica dell'impianto è visualizzata in Figura 28, con illustrazione dei vari elementi di cui consta. L'impianto è collegato al sistema di controllo e acquisizione dati: CR100 della Campbell, con estensione di canali acquisibili.

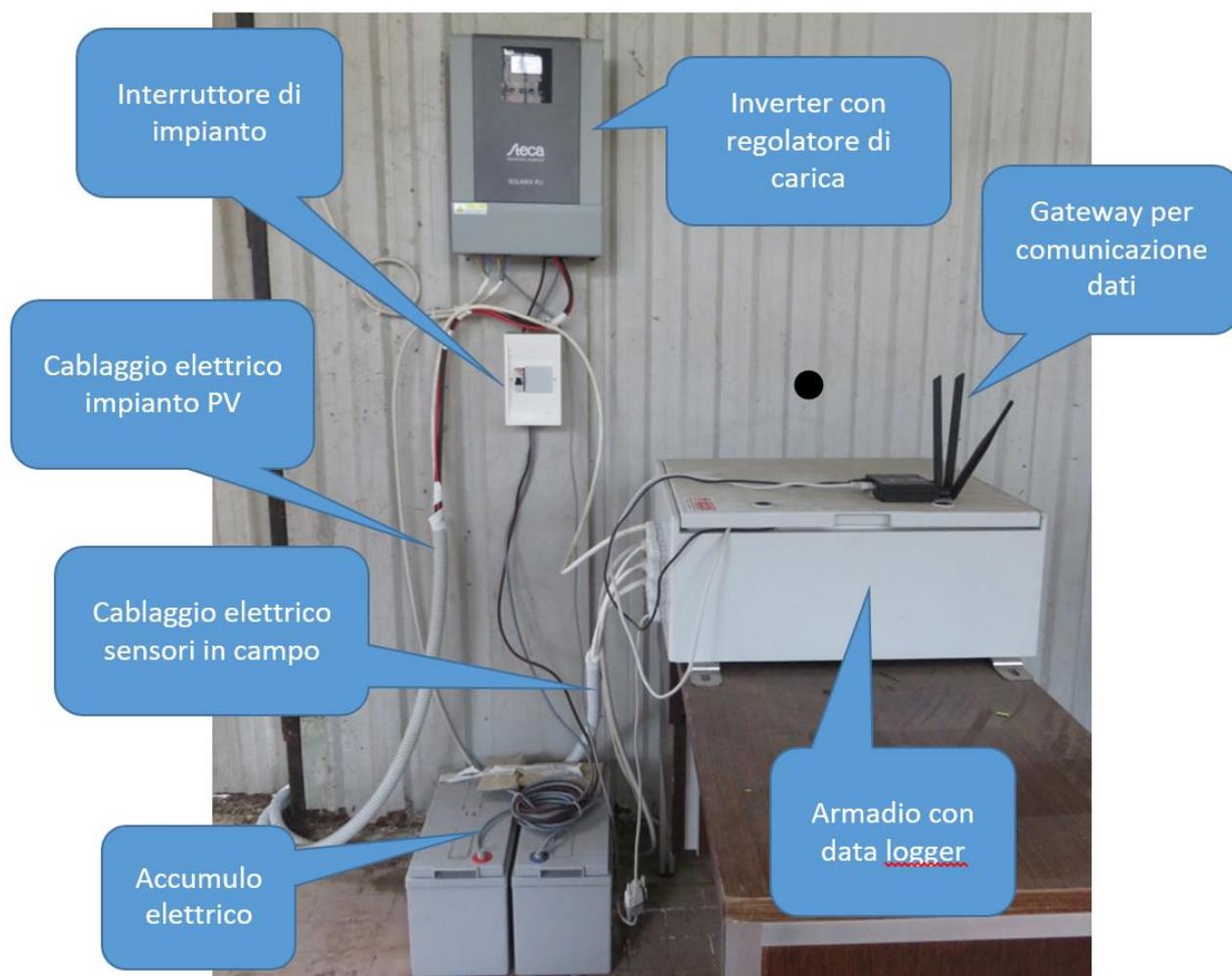


Figura 28. Componenti dell'impianto elettrico a supporto dei pannelli fotovoltaici e della sensoristica in campo.

Il sistema di controllo ha monitorato le seguenti grandezze dell'impianto fotovoltaico:

Stato della pompa	on/off
Presenza alimentazione di rete	V
Potenza assorbita dal sistema	W
Tensione alla batteria	V
Batteria in scarica	%
Batteria in carico	%
Corrente di carica	A
Produzione PV	W
Stato di carica batteria	%

Tensione batteria del logger W

Tabella 2. Specifiche dei sensori per il monitoraggio microclimatica

Parametro fisico	Trasduttore	Campo di misura	Accuratezza	Condizione di misura
Temperatura dell'aria	PT100	-40°C / +60°C	± 0,3 K	-40°C / +60°C
Umidità relativa dell'aria	Condensatore a film sottile	0-100%	± 1.5%	-40°C / +60°C
Velocità del vento	Trasduttore sonico	0-30 m/s	0.3 m/s – 3%	0-30 m/s
Direzione del vento	Trasduttore sonico	0-359°	±5°	0-30 m/s
Temperatura globo	PT100 con globo 150mm	-30°C / +120°C	± 0,3 K	-40°C / +60°C

2.2.1.4 Descrizione della sensoristica di campo

L'impianto realizzato consta due stazioni microclimatiche poste: una all'interno della zona nebulizzata e una al centro del piazzale vicino al gruppo pannelli PV. Le stazioni includono i sensori di temperatura, umidità e velocità dell'aria, nonché il globo-termometro necessario per la determinazione della temperatura media radiante. Le specifiche dei sensori sono riportate in Tabella 2. I sensori delle due stazioni microclimatiche sono collegati al data logger CR1000, a quest'ultimo sono collegati altri otto sensori di temperatura dell'aria del tipo PT100.

Una ulteriore serie di sensori in dotazione al campo sperimentale sono i termo-igrometri con *logger* dedicato EM50 Decagon, utilizzati per misure addizionali, all'interno o all'esterno della griglia dei nebulizzatori. Per quanto riguarda tali sensori, le specifiche tecniche sono:

- Temperatura dell'aria – campo di misura -40°C / +60°C, risoluzione 0.1°C, accuratezza 0.3°C (nell'intervallo di temperatura della sperimentazione 15-40°C).
- Umidità relativa dell'aria – campo di misura 0/100%, risoluzione 0.1%, accuratezza 3% (nell'intervallo combinato di temperatura e dell'umidità relativa della sperimentazione).

2.2.1.5 Procedure di misura

L'impianto è stato installato in tutte le sue parti durante la seconda metà di giugno 2021, con lavori che hanno riguardato in sequenza: a) pulizia del piazzale; b) montaggio del sistema evaporativo sotto la tettoia; c) montaggio dei pannelli PV e relativo supporto; d) componenti elettrici del sistema idrico e fotovoltaico; e) sensoristica di campo.

Per quanto riguarda il monitoraggio dei dati si è scelta un time-step di lettura e campionamento di 15 secondi; una tale risoluzione è stata ritenuta utile non tanto per il funzionamento in continuo con alimentazione da rete elettrica, ma piuttosto per il funzionamento automatizzato in funzione del

comfort termico e alimentato in autonomia dalle fonti rinnovabili. Per le analisi dei risultati, il valore puntuale è stato successivamente mediato a intervalli di un minuto. Facendo riferimento al lay-out di Figura 29, i seguenti punti di misura sono stati acquisiti:

- 1) Stazione microclimatica sotto nebulizzatori
- 2) Stazione microclimatica al centro del piazzale accanto ai pannelli fotovoltaici
- 3) Termo-igrometro in fondo alla tettoia sul fronte nord aperto
- 4) Termo-igrometro di controllo lato sud rispetto a edificio C III 30
- 5) Termo-igrometro di controllo lato sud rispetto a edificio C III 30

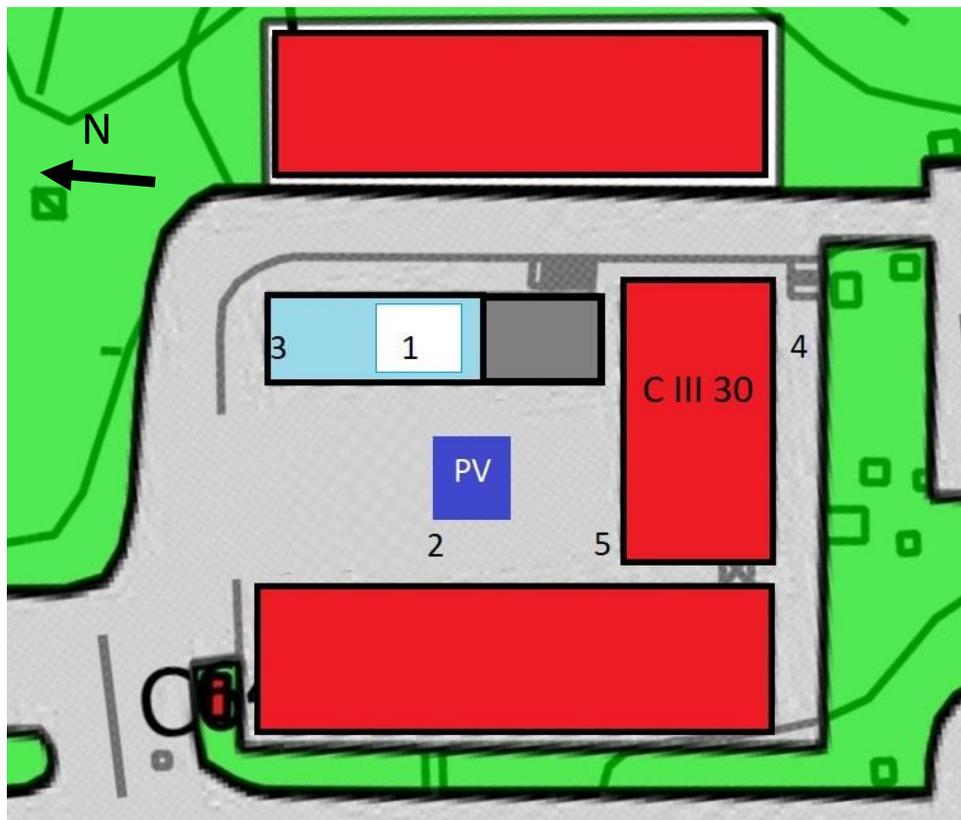


Figura 29. Lay-out del campo di prova con indicazione dei punti di monitoraggio.

Tabella 3, sono stati condotti 7 monitoraggi differenti, con l'obiettivo di analizzare le performance di sistema in funzione di diversi aspetti progettuali. Si noti anche il lungo periodo di non funzionamento (16-27 luglio) è dipeso da un malfunzionamento della pompa, a seguito di un problema con l'alimentazione elettrica.

Durante il monitoraggio alcuni aspetti della configurazione sono rimasti costanti, in particolare l'accensione dell'impianto è sempre avvenuto in modo manuale per massimizzare il numero di ore disponibili per la raccolta dati; vale però sottolineare le singolarità di alcuni periodi:

- F. Monitoraggio mirato a verificare in funzionamento del sistema in autonomia energetica, sfruttando solo la produzione PV e l'accumulo elettrico. Solo in questo periodo il sistema di è

attivato in modo automatico implementando una regola per l'accensione, legata al valore di MOCI, indicatore di comfort termico selezionato (si veda report relativo alla linea di attività LA.37). La formula del MOCI si basa sull'acquisizione di temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria, nonché la temperatura del globo-termometro; quest'ultima tuttavia richiede un tempo di stabilizzazione di circa 15 minuti, quindi del tutto incompatibile con la frequenza di campionamento impostata per le letture. Per tale ragione si è utilizzata una formula corretta del medesimo indicatore (proposta dal medesimo autore principale in: *On the association between high outdoor thermo-hygrometric comfort index and severe ground-level ozone: A first investigation*, pubblicato in *Environmental Research* 195 (2021) 110306, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110306>):

$$MOCI = - 4.257 + 0.325 \cdot I_{CL} + 0.146 \cdot T + 0.005 \cdot RH + 0.001 \cdot I_S - 0.235 \cdot WS$$

In cui l'irradiazione solare I_S , che ha tempo di risposta immediato, sostituisce con buona approssimazione la temperatura media radiante, soprattutto là dove si ha un'ampia visione della volta celeste.

- G. Impianto spento, monitoraggio mirato a confrontare le condizioni ambientali dei vari punti di misura in assenza di raffrescamento evaporativo.
- H. Montaggio di un telo verticale (coefficiente di ombreggiatura 80%) sul lato ovest dell'impianto evaporativo, quindi separandolo "fisicamente" dal piazzale. Monitoraggio inteso a verificare il potenziale di raffrescamento nel caso di volume più isolato dall'ambiente esterno (due superfici aperte, invece delle 3 delle altre configurazioni).

Tabella 3. Configurazione campo sperimentale durante il monitoraggio

Periodo	Inizio	Fine	Schema misting	Punto contr.	Sensori mobili	Gestione	Telo verticale
A	28-giu	08-lug	1	4	verticali 1	manuale	no
B	09-lug	15-lug	1	4	verticali 2	manuale	no
C	28-lug	05-ago	1	4	bordi misting	manuale	no
D	06-ago	15-ago	2	5	bordi misting	manuale	no
F	16-ago	23-ago	2	5	bordi misting	autom.	no
G	24-ago	02-set	2	4	bordi misting	spento	no
h	03-set	09-set	2	4	bordi misting	manuale	si

Durante il primo periodo di monitoraggio (fine giugno – inizio luglio) si è posta l'attenzione su alcuni aspetti puntuali del sistema, ad esempio la distribuzione verticale e orizzontale delle temperature nella zona climatizzata, in particolare:

- I. Per quanto riguarda la distribuzione verticale sono stati montati 5 sensori in colonna, nel periodo dal 29 giugno al 2 luglio in prossimità di un ugello; dal 2 luglio alle 14 i sensori sono stati spostati al centro di una maglia;

- II. I sensori PT 100 sono stati montati ad un'altezza di 110 cm da terra, in corrispondenza di un filare, con il primo sensore allineato verticalmente con un ugello nel periodo dal 28 giugno al 2 luglio; dal 2 luglio alle 14 i sensori sono stati spostati in mezzeria, tra due filari.

Un altro aspetto verificato durante il monitoraggio preliminare è stata la risposta del globo-termometro esposto alla radiazione solare, che ha determinato una sovrastima eccessiva della temperatura radiante, e quindi uno sbilanciamento dei pesi nel calcolo degli indicatori di comfort termico. Per ovviare a tale problema saranno svolte una serie di analisi aggiuntive che consentiranno di confrontare il dato del globo-termometro utilizzato col il globo-termometro grigio (sviluppato in tempi recenti espressamente per ambiente outdoor) e con la radiazione solare. Queste analisi consentiranno di eventualmente correggere le misure, ottenendo una più accurata risposta dell'indice di comfort termico.

Per quanto detto sopra le analisi successive saranno condotte considerando il potenziale di raffrescamento (*Cooling Potential*) - differenza tra temperatura indisturbata e temperatura sotto l'impianto di nebulizzazione) quale principale indicatore di performance.

Figura 30 e Figura 31 presentano, a scopo esemplificativo, due momenti che evidenziano visivamente il comportamento del sistema di nebulizzazione: il primo nel mese di luglio con temperature molto elevate e, quindi, una rapida vaporizzazione dell'acqua iniettata dagli ugelli; il secondo a settembre con temperature più basse e ventilazione ostacolata dall'elemento schermate, la vaporizzazione avviene in questo caso per tutta l'altezza del sistema, con umidità relative elevate e rischio di bagnamento, come sarà di seguito discusso.



Figura 30. Impianto evaporativo in funzione nel mese di luglio.



Figura 31. Impianto evaporativo nel mese di settembre con schermo laterale in funzione.

2.2.2 Risultati

Durante la prima settimana di monitoraggio è stata analizzata la distribuzione verticale delle temperature dell'aria all'interno della zona nebulizzata, con le due posizioni della colonna di sensori indicate sopra e con una griglia di nebulizzatori di 130 cm. I sensori montati in verticale sono stati posizionati a diverse quote da terra: 110, 150, 190, 230, 270 cm, con l'ugello posto alla quota di 300 cm. I principali risultati sono riassunti in Tabella 4 e in Figura 32. Tabella 4 riporta i valori medi della temperatura a diverse quote e la differenza di temperatura tra questi valori e l'aria esterna al di fuori dell'impianto di nebulizzazione. Dal 29 giugno al due luglio la temperatura media è stata di 30.3°C, dal 3 al 9 luglio il valore medio è stato 31.3°C. Ovviamente tali valori fanno riferimento al solo periodo di funzionamento dell'impianto.

Tabella 4. Temperature e relative differenze misurate con i sensori montati in verticale. I risultati fanno riferimento a due posizioni dei sensori: sotto ugello e al centro di una maglia

Quota sensore [m]	$\Delta T_{\text{ sotto ugello }} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ sotto ugello }} [^{\circ}\text{C}]$	$\Delta T_{\text{ centro maglia }} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{ centro maglia }} [^{\circ}\text{C}]$
2.7	4.8	25.5	3.6	27.8
2.3	4.8	25.5	3.7	27.7
1.9	4.0	26.2	3.2	28.1
1.5	3.5	26.8	2.8	28.5
1.1	3.2	27.1	2.5	28.8

Per quanto riguarda i risultati dei sensori posizionati in verticale al di sotto di un ugello si nota un salto termico medio di 3.6°C tra il sensore posto in prossimità dell'ugello e quello posto a 110 cm da terra, considerato questo un valore di riferimento per valutare il comfort di un essere umano seduto. Il potenziale di mitigazione ha il picco a 4.8°C nel sensore in alto e su quello immediatamente più in basso per poi ridursi con ampiezza sempre minore con l'abbassarsi della quota di osservazione, con l'andamento riportato dalla curva nera di Figura 32. Risultati diversi si hanno per il periodo dal 3 a 9 luglio, con i sensori posti al centro di una maglia di sensori. Innanzitutto, si tratta di giornate più calde con temperatura media 31.3°C, un grado in più rispetto al periodo precedente, e con un profilo di temperatura differente: il picco di raffrescamento medio (3.7°) si ha alla quota di 230 cm per poi decrescere similmente al caso precedente, anche se con profilo più lineare, come si evince dalla curva rossa di Figura 32. Il sensore in alto ha una temperatura media leggermente più alta di quello sottostante, fenomeno spiegabile con il fatto che ad altezze più elevate l'aria refrigerata immediatamente al di sotto dell'ugello non si è distribuita uniformemente con la massa d'aria più distante, dando luogo a gradienti termici orizzontali.

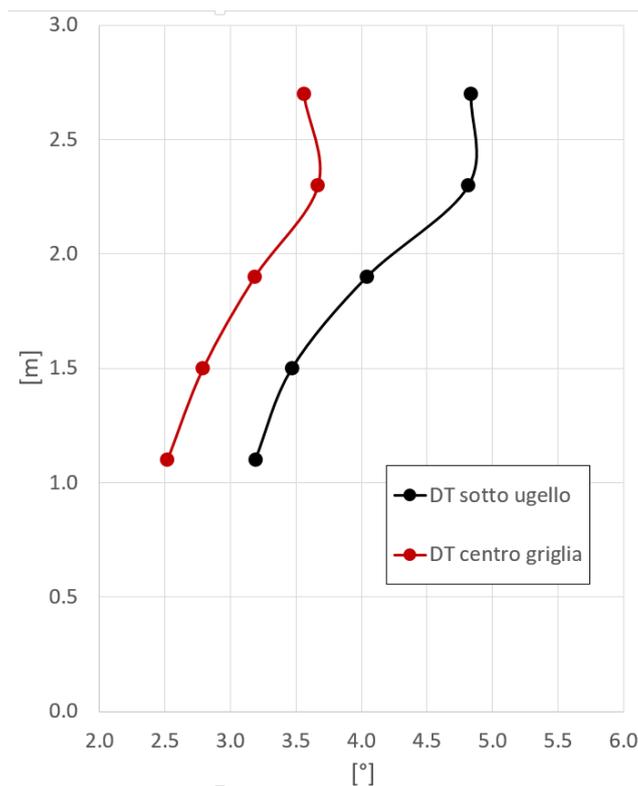


Figura 32. Distribuzione verticale della differenza media di temperatura esterna e all'interno della zona.

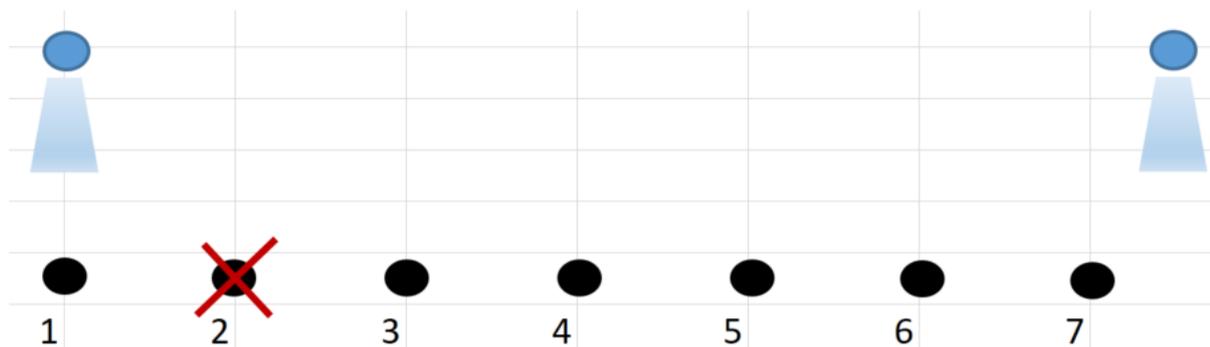


Figura 33. Posizionamento delle sonde di temperatura per la verifica della distribuzione orizzontale delle temperature.

Per quanto riguarda la distribuzione orizzontale delle temperature, si faccia riferimento alla Figura 33. La sonda 1 è posizionata sotto un ugello, le successive ad una distanza di 20 centimetri in corrispondenza di un filare del sistema evaporativo durante il primo periodo, successivamente il blocco sensori è traslato nella mezzeria tra due filari. Purtroppo un malfunzionamento la non disponibilità dei dati relativi alla PT100 numero 2. I risultati sono riportati in Tabella 5. Ai fini della distribuzione delle temperature, i dati evidenziano un comportamento non eccessivamente differente al di sotto di un filare e nella mezzeria tra due di essi con medesimo stato della pompa; la media delle deviazioni standard sul minuto è infatti 0.406 e 0.542 con la pompa in funzione, rispettivamente; a pompa spenta la deviazione standard si abbassa per entrambe le quote di circa 42/43%. A parità di altezza dal suolo, l'effetto della vaporizzazione dell'acqua è quello di aumentare i moti convettivi locali tra i filari di ugelli dando luogo a una maggiore dispersione delle temperature, per effetto del rimescolamento locale dell'aria; il fenomeno è molto più limitato quando il sistema di misting non è in funzione.

Osservando i valori medi, si notano tuttavia alcuni risultati ricorrenti: il sensore 1 registra sempre il valore più alto in tutte le configurazioni, nonostante sia posto esattamente sotto l'ugello, mentre il sensore 7 è sempre il più basso, dato questo più coerente con la distanza ridotta rispetto all'ugello adiacente. Inoltre, ad impianto spento, la differenza tra i valori massimi e minimi delle medie è inferiore all'errore dello strumento ($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$) confermando mediamente sia l'accuratezza della misura che l'uniformità del campo termico. Questo non accade ad impianto acceso per i motivi suddetti con differenze di 0.8 e 1.2 $^{\circ}\text{C}$ per le due giaciture dei sensori. Si noti, ad esempio, che per i sensori allineati con il filare cm si riscontrano differenze superiori 1 $^{\circ}\text{C}$ tra il più caldo e il più freddo dei sensori nel 50% dei casi; da questo punto di vista è importante la scelta del cono di emissione degli ugelli, parametro oggetto di analisi nel report relativo a LA1.39 - Servizi Urbani Energivori: Sistema di raffreddamento evaporativo per la mitigazione della temperatura dell'aria svolto dal Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM) dell'Università Politecnica delle Marche.

Tabella 5. Media di temperatura e deviazione standard ai fini della distribuzione delle temperature orizzontali con diversi stati della pompa e quota dei sensori.

Quota sensore [m]	Stato pompa [-]	T1 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	σ [°C]
1.1	on	29.3	29.1	28.7	28.5	28.9	28.5	0.406
1.1	off	23.1	23.2	22.8	22.8	23.0	22.8	0.231
1.5	on	29.0	29.0	28.5	28.5	28.5	27.8	0.542
1.5	Off	24.5	24.7	24.2	24.3	24.5	24.2	0.313

Come detto precedentemente, per quanto riguarda l'analisi di prestazione del sistema evaporativo, si è individuato il potenziale di raffrescamento (abbassamento della temperatura nella zona climatizzata rispetto alla temperatura misurata in una zona indisturbata) come principale indicatore di performance. A seguire, si riportano i risultati delle varie configurazioni facendo riferimento alla centralina montata a 150 cm da terra al centro di una maglia al di sotto dell'impianto evaporativo. Le analisi sui dati puntuali prendono in considerazione tutte le misure con time-step da un minuto, mentre per le medie giornaliere si è scelto come intervallo massimo di misura quello tra le nove di mattina e le sette di sera, ipotizzando un servizio per la cittadinanza durante le ore diurne.

Le misure con maglia 130 cm sono state eseguite nel periodo tra il nove e il quattordici luglio; i valori medi giornalieri e la media calcolata sul periodo del potenziale di raffrescamento sono riportati in Tabella 6. La tabella riporta anche, nella zona di misura indisturbata, i valori medi giornalieri di temperatura, velocità e umidità dell'aria, nonché l'irradiazione cumulata giornaliera; l'ultima riga riporta i valori mediati sull'intero periodo di misura.

Seppur nella evidente stringatezza, i dati evidenziano come il cooling potential dipenda in modo complesso da tutte le grandezze coinvolte nel processo fisico. Questa configurazione è corroborata dai risultati puntuali presentati in Figura 34, nei quali il potenziale di raffrescamento è tracciato rispetto alla temperatura e all'umidità relativa dell'aria. In entrambi i casi vi è una elevata dispersione dei dati e, nonostante i grafici evidenzino una chiara tendenza, i tentativi di correlazione danno in entrambi i casi dei risultati poco significativi; nel caso del vento non si evidenzia invece alcuna tendenza, probabilmente anche a causa delle velocità molto basse misurate sul posto, per questo motivo i risultati non sono quindi presentati graficamente.

Si noti infine un numero limitato di letture in cui la presenza del misting dà luogo ad un incremento locale della temperatura, ossia un cooling penalty; il fenomeno è tipicamente mattutino ed è legato, di breve durata e legato a diverse condizioni di irraggiamento delle due stazioni microclimatiche in particolari momenti di alcune giornate. Nel contesto del monitoraggio complessivo, la presenza di queste letture risulta comunque trascurabile.

Tabella 6. Dati medi giornalieri dei parametri microclimatici fuori dall’area di misting e riduzione della temperatura sotto l’impianto nelle ore di funzionamento – interasse ugelli 130 cm e periodo 9-14 luglio.

Giorno	V (m/s)	UR (%)	T (°C)	H (MJ/m2)	DT (°C)
9/7	0.77	47	31.5	5.5	3.3
10/7	0.86	37	32.3	6.3	2.7
11/7	0.83	41	31.3	6.2	2.4
12/7	0.77	47	32.1	5.6	3.3
13/7	0.96	63	27.4	2.5	1.6
14/7	0.95	52	28.0	2.3	3.6
Media	0.68	48	30.5	4.7	2.8

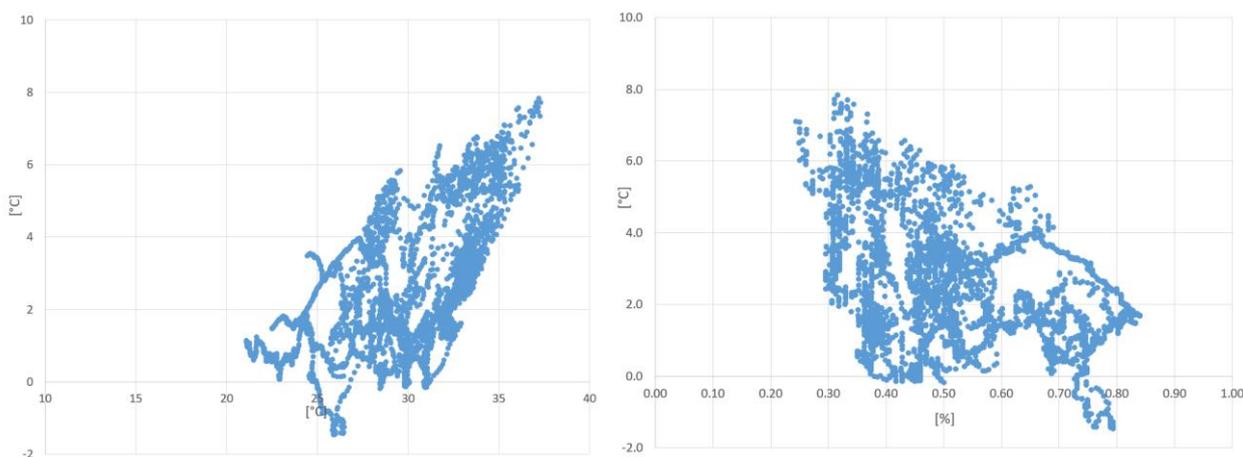


Figura 34. Rilevazione puntuale al minuto del potenziale di raffrescamento in funzione della temperatura dell’aria (sinistra) e dell’umidità relativa dell’aria (nella scala 0-1).

Osservando di dati della tabella, si evidenzia la blanda dipendenza dalla sola temperatura: nove e undici luglio questa molto simile ma il cooling potential differisce di 0.9°C su un picco giornaliero di 3.3°C il primo giorno; il tredici luglio si evidenzia una forte dipendenza del raffrescamento dall’umidità relativa, al cui valore molto elevato (rispetto agli altri giorni) corrisponde un abbassamento della temperatura di 1.6°C, risultando questo anche il giorno meno caldo del monitoraggio

Con il monitoraggio successivo, durato dal 29 luglio al 5 agosto con la sola eccezione del 31 luglio, la griglia dei sensori è stata modificata riducendo l’interasse da 130 a 100 centimetri. I dati giornalieri, analogamente a quanto fatto precedentemente, sono presentati in Tabella 7. Questo secondo periodo ha registrato valori molto elevati di cooling potential rispetto a quello precedente, la media sul periodo è infatti passata da 2.8°C a 0.7°C, ossia 1.8°C che in termini relativi corrispondono a un incremento del 25%; si osserva anche che, a fronte di prestazioni significativamente differenti sul periodo, il massimo del potenziale di raffrescamento è stato molto simili, ossia 7.8 e 8.0°C per le configurazioni con interasse tra gli ugelli di 130 e 100 cm, rispettivamente.

Questo secondo periodo è stato più caldo mediamente di 1.2°C e con umidità relativa più bassa di carica il 5%, condizioni queste che favoriscono migliori performance del sistema evaporativo; per contro si sono avute condizioni decisamente più ventose, sebbene con valori assoluti piuttosto bassi (0.8 contro 0.68 m/s), che hanno avuto, almeno in linea di principio, un impatto negativo sul potenziale di raffrescamento del sistema. L'irradiazione solare cumulata giornaliera è stata pressoché costante (differenza media sul periodo pari a 0.1 MJ/m²), anche se due aspetti devono essere rimarcati: i) l'irradiazione non è il valore assoluto registrato nella giornata ma solo durante le ore di funzionamento del sistema evaporativo, quindi non necessariamente rappresentativo del microclima giornaliero; ii) poiché l'area climatizzata è completamente schermata dalla tettoia, il contributo della radiazione solare alla "dimensione" del potenziale di raffrescamento risulta comunque limitato nello studio in esame.

Tabella 7. Dati medi giornalieri dei parametri microclimatici fuori dall'area di misting e riduzione della temperatura sotto l'impianto nelle ore di funzionamento – interasse ugelli 100 cm e periodo 29 luglio-5 agosto.

Giorno	V (m/s)	UR (%)	T (°C)	H (MJ/m ²)	DT (°C)
28/7	0.79	21	35.7	4.8	3.9
29/7	0.77	47	33.9	4.8	3.6
30/7	0.67	41	33.9	5.1	3.9
1/8	0.94	49	30.9	5.2	2.9
2/8	0.77	48	28.4	3.1	3.5
3/8	0.76	46	29.8	5.6	3.8
4/8	0.76	42	33.2	4.4	3.9
5/8	0.90	52	28.0	3.7	2.9
Media	0.80	43	31.7	4.6	3.5

La comparazione tra le due configurazioni può essere fatta, in modo più approfondito, confrontando la distribuzione cumulata del potenziale di raffrescamento, le cui curve sono presentate in Figura 35. Gli estremi delle curve evidenziano due aspetti: a) con l'interasse a 100 cm scompaiono i valori negativi del cooling potenzial, fenomeno questo da ricondurre, tuttavia, più alle condizioni microclimatiche nei periodi estremi della giornata che ha una specificità della maglia di ugelli scelta; b) le curve sono molto simili intorno ai valori più elevati del potenziale di raffrescamento (>6°C). Le due configurazioni hanno, viceversa, prestazioni differenti alle temperature intermedie, ad esempio il potenziale di raffrescamento del sistema con interasse tra ugelli pari a un metro è risultato superiore a 4°C durante il 38% del periodo, contro il 22% registrato con la maglia a 130 centimetri; analogamente letture con potential cooling superiore a 3°C sono state registrate per il 60 e 38% per la griglia da 100 e 130 cm, rispettivamente. Questo tipo di dato è molto significativo, in quanto riguarda il maggior numero di ore di osservazione del periodo, essendo l'occorrenza dei fenomeni estremi ovviamente più limitata, e consente di poter valutare in modo più oggettivo l'impatto della riduzione della maglia di ugelli e quindi della quantità specifica di acqua nebulizzata all'interno della zona.

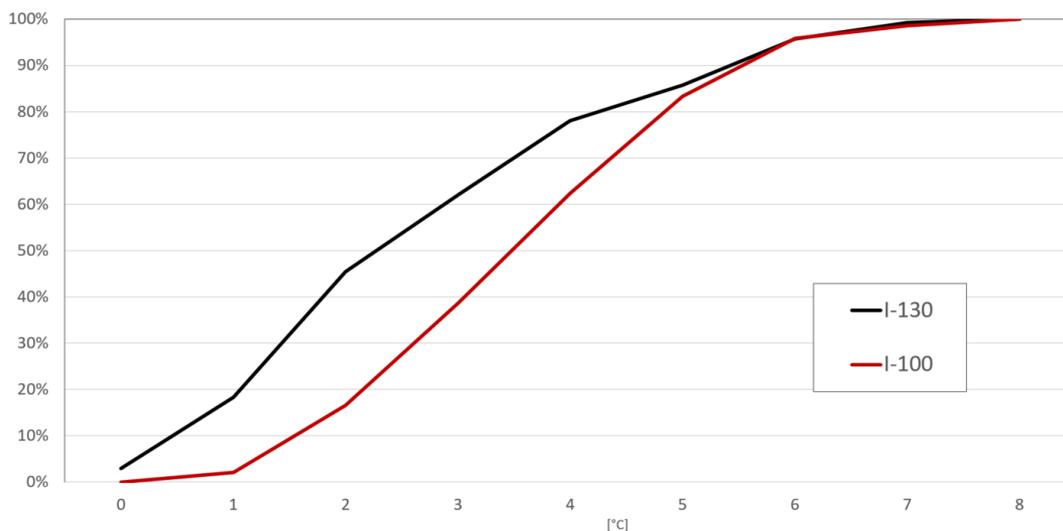


Figura 35. Distribuzione cumulata del potenziale di raffrescamento per le due interrassi utilizzate per la griglia di ugelli.

Il monitoraggio dal 3 al 9 settembre è avvenuto montando un telo sul fronte ovest della tettoia, creando così un *semi-enclosed space* al fine di verificare il potenziale di raffrescamento nel caso di circolazione dell'aria limitata. L'andamento delle temperature e dell'umidità relativa dell'aria è presentato in Figura 36, nella quale si è tracciato anche lo stato della pompa; per compattezza si è scelta una rappresentazione con passo orario, nonostante le acquisizioni al minuto, cosa che spiega valori diversi da 0/1 della pompa, relativi ai transitori di accensione e spegnimento. Le linee curve in figura si riferiscono alla stazione microclimatica esterna, quelle tratteggiate alla stazione all'interno della zona climatizzata. Due aspetti sono immediatamente evidenziati, i quali caratterizzavano questa configurazione rispetto alle precedenti:

- Il salto termico tra le due zone è molto elevato, raggiungendo un picco puntuale di 9.6°C; inoltre la differenza di temperatura tra le due zone è superiore a 8°C nel 37% delle letture puntuali nel periodo di osservazione.
- L'effetto del telo ha drasticamente ridotto la circolazione dell'aria al di sotto della tettoia. L'area scelta è in generale caratterizzata da un mite regime dei venti, tuttavia l'effetto del telo verticale ha amplificato questo aspetto. Nei sette giorni di monitoraggio la velocità media del vento del piazzale è stata di circa 0.6 m/s, scendendo a 0.35 m/s nella zona climatizzata; altro dato esemplificativo, la velocità è stata superiore a 0.8 m/s nel 20% del periodo nel piazzale, ma solo di circa 1.5% nella zona controllata. Una conseguenza molto importante è quella al punto precedente.
- La scarsa circolazione dell'aria determina stagnazione e una più lenta evaporazione dell'acqua, come già visivamente evidenziato per confronto in Figura 30 e Figura 31, in questo caso la nebulizzazione non si "consuma" nel primo metro dall'ugello ma molto più in basso con un notevole incremento del livello di umidità relativa, come da Figura 36, con associati rischi per il

comfort termico e il bagnamento (verificato attraverso ispezioni visive condotte in diversi momenti della giornata) degli oggetti e individui all'interno della zona.

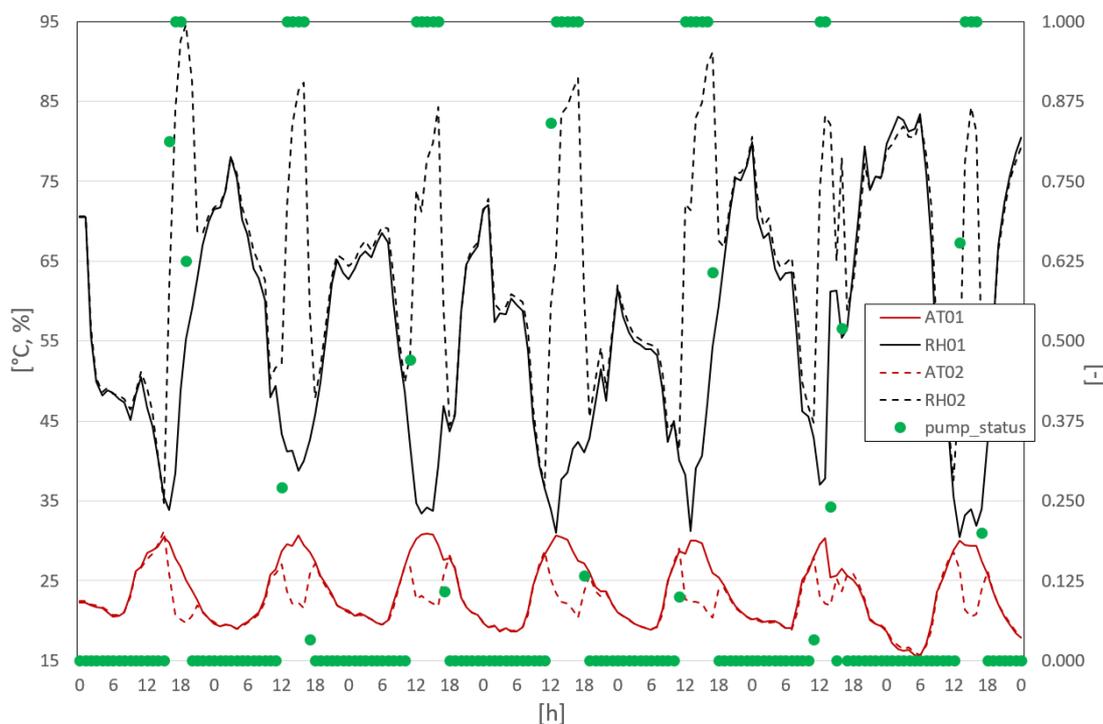


Figura 36. Andamento dell'umidità relativa e della temperatura dell'aria, e dello stato di funzionamento della pompa durante il monitoraggio con il telo sul fronte ovest

Tabella 8 riporta i valori medi giornalieri e dell'intero periodo di monitoraggio delle principali grandezze micro-climatiche sotto e al di fuori dell'area nebulizzata. Ovviamente le temperature nel periodo sono state sensibilmente più miti rispetto ai due mesi precedenti, tuttavia l'analisi ha consentito di osservare alcuni aspetti importanti per la progettazione di spazi urbani raffrescati con tali sistemi. I valori medi sono stati calcolati considerando soltanto i valori di temperatura esterna superiori a 28°C sia per avere dati più comparabili con quelli dei periodi precedenti, sia perché con valori inferiori si sarebbero inclusi periodi con evidente rischio di *overcooling* sotto i nebulizzatori, a causa dell'elevato salto termico nella zona. Mediamente il potenziale di raffrescamento giornaliero è stato di 7.3°C, con picco e minimo di 7.9 e 6.5°C, rispettivamente; è anche interessante notare come l'incremento di umidità relativa sia stato molto costante nel periodo: a parte il giorno 9 settembre che ha avuto un aumento del 45%, negli altri casi questo si è sempre mantenuto nel range 40-41%. Si noti anche il basso livello di umidità relativa durante il periodo, che lascia supporre elevati rischi di condensa all'interno dell'aria nel caso di periodi caratterizzati da elevata umidità. Come per i casi precedenti, anche in questo caso non sono osservabili delle tendenze ben definite, sicuramente non per il vento, sempre con valori abbastanza bassi e comunque non influenti per la presente configurazione di sistema; tuttavia si osserva che il minimo di potenziale di raffrescamento di è registrato per il giorno con temperatura media meno elevata, mentre il massimo del potenziale si è registrato nel giorno con umidità relativa minore.

Tabella 8. Dati medi giornalieri dei parametri microclimatici sotto e fuori dall'area di misting durante il monitoraggio con il telo sul fronte oves.

Giorno	V (m/s)_out	T (°C)_out	UR (%)_out	T (°C)_in	UR (%)_in	DT (°C)	DUR (%)
03-set	0.83	29.0	35	22.5	75	6.5	40
04-set	0.73	29.8	40	22.6	81	7.2	41
05-set	0.81	30.3	36	22.7	76	7.6	41
06-set	0.82	30.0	37	22.7	77	7.3	41
07-set	0.81	29.6	38	22.5	78	7.1	41
08-set	0.66	29.9	37	22.6	78	7.3	41
09-set	0.69	29.4	33	21.6	77	7.9	45
Media	0.76	29.7	36	22.5	78	7.3	41

In generale, tale configurazione ha un potenziale di raffrescamento molto elevato ma anche dei rischi legati al comfort e alla fruizione dello spazio climatizzato; in tal senso, appare molto importante l'integrazione di soluzioni sostenibili con funzionalità tipiche delle *smart technologies*, in grado di attivare componenti dinamici, come i setti verticali schermanti, soltanto nei momenti in cui lo richiedano determinate condizioni ambientali, in modo da ottimizzare il benessere degli occupanti e minimizzare l'uso delle risorse idriche ed energetiche.

Per quanto riguarda gli aspetti strettamente legati al sistema di controllo, il monitoraggio condotto dal 16 al 23 agosto è stato dedicato ad osservare il funzionamento del sistema evaporativo operato in modo automatizzato invece che manuale. Come detto, l'indicatore di riferimento scelto è il MOCI e la strategia di controllo è stata implementata attivando l'impianto con il fattore di soglia 1, corrispondente alla sensazione di abbastanza caldo nella scala a 7 classi (-3 → +3) identificate secondo le procedure ASHRAE. Per evitare continui attacchi/stacchi della pompa, azione che ha un effetto negativo sulla vita utile di quest'ultima, è stata introdotta un'isteresi sull'algoritmo di controllo, ossia l'impianto si attivava con $MOCI > 1.1$ e si spegneva per $MOCI < 0.9$.

Per esemplificare il funzionamento del sistema sono riportati gli andamenti di alcune grandezze rilevanti durante il monitoraggio in Figura 37. Andamento delle principali grandezze impiantistiche durante il funzionamento automatizzato del sistema evaporativo. Figura 37, nella quale sono riportati gli andamenti su base oraria, ottenuti mediando le letture al minuto del sistema di controllo. Le due curve superiori riportano l'andamento del MOCI e della produzione elettrica dell'impianto fotovoltaico; si osserva che le curve sono molto simili nella fase di picco, essendo entrambi i parametri fortemente legati all'intensità dell'irraggiamento solare. Per le condizioni microclimatiche del sito, la logica di controllo attivava il sistema in un numero limitato di ore durante la giornata, questo aspetto è anche osservabile nel diagramma in basso che riporta l'andamento del profilo di utilizzo della pompa. Per questo caso di noti che la pompa è del tipo on/off (0/100%) con comando al minuto, mediando su base oraria si sono ottenuti inevitabilmente valori con frazioni del 100%. Il profilo di utilizzo della pompa evidenzia un funzionamento non continuativo della pompa, legato anche alla variabilità del clima nel periodo; ciò

nonostante il pacco batteria da 200 Ah e il sistema fotovoltaico da 1200 Watt hanno garantito l'autonomia energetica del sistema. In particolare si può osservare che la produzione rinnovabile durante il giorno ha consentito di alimentare il sistema evaporativo, mantenendo una carica elevata della batteria fino al tardo pomeriggio, quando l'impianto di fatto si spegneva. Il livello di carica si abbassava durante la notte per le perdite di sistema e per l'alimentazione del sistema di controllo senza mai scendere al di sotto del 45%. Si noti che la superficie fotovoltaica richiesta per alimentare il sistema è circa il 30% dell'area climatizzata, quindi nel caso di strutture coperte, come quelle in esame, la superficie disponibile garantisce il funzionamento del sistema e, eventualmente, produzione addizionale per alimentare *device* elettrici di varia natura.

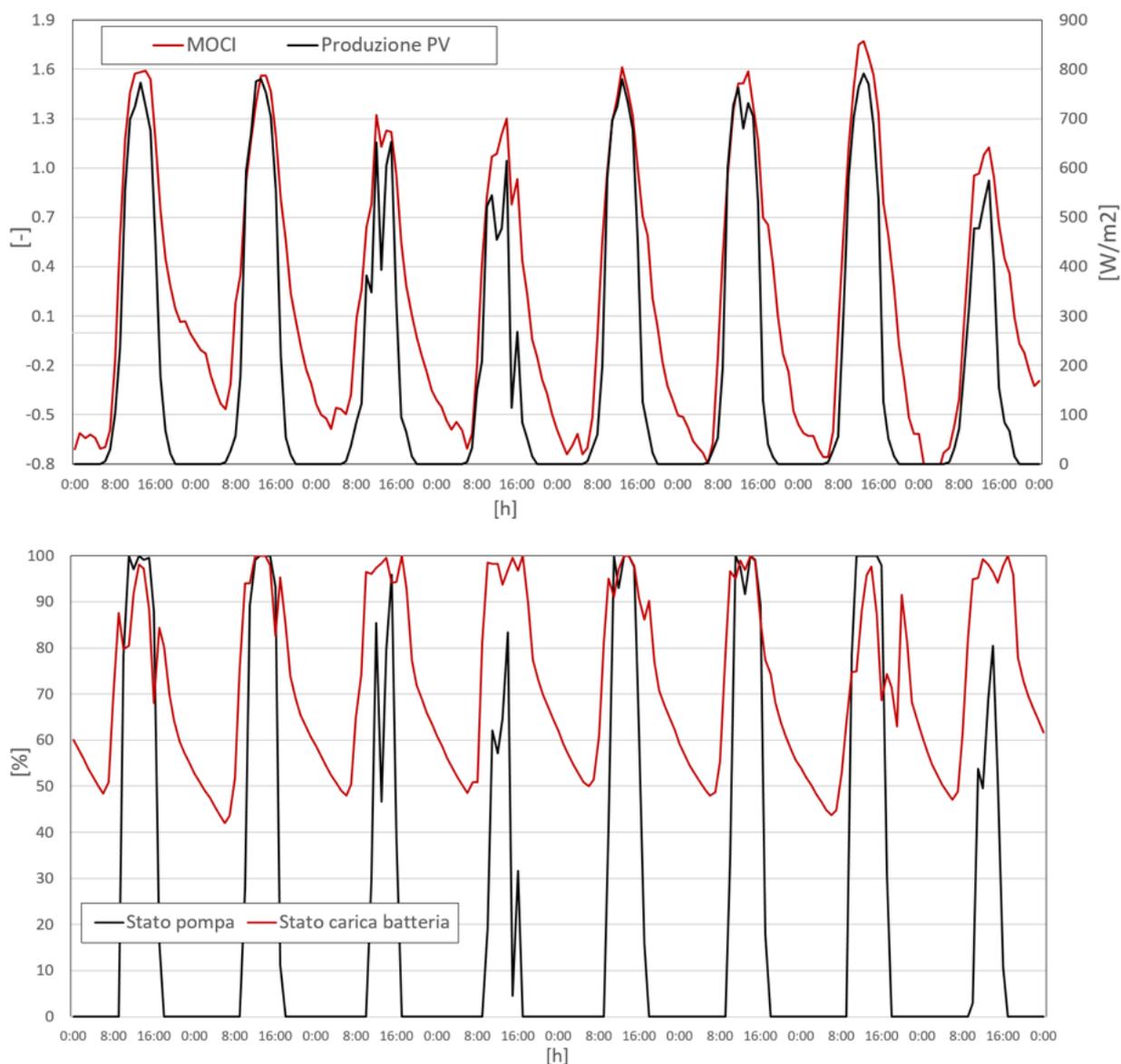


Figura 37. Andamento delle principali grandezze impiantistiche durante il funzionamento automatizzato del sistema evaporativo.

In termini di potenziale di raffrescamento, lo studio in esame si discosta nettamente dalle analisi precedenti, in quanto la climatizzazione è in questo caso calibrata sull'effettiva domanda del sistema. Tuttavia, per completezza di informazione si è trovato un abbassamento medio di 3.4°C per le misure orarie considerate durante la sola fase di funzionamento della pompa, con un valore massimo di 6.2°C. Si è inoltre calcolato il potenziale di raffrescamento su base oraria considerando le ore più calde, ossia dalle 9.00 alle 19.00, in questo caso è stato registrato un potenziale di raffrescamento medio di 1.7°C, valore spiegabile con il fatto che MOCI superiore a 1 è stato registrato soltanto nel 44% delle ore di osservazione e, di conseguenza, in molte ore la temperatura dell'aria è risultata essere molto simile. Tale comportamento non implica una minore performance del sistema, ma semplicemente un intervento della nebulizzazione solo quando lo hanno richiesto le condizioni ambientali.

2.3 CIPCast-ER

Nell'ambito delle attività previste nella precedente seconda annualità (LA1.37) erano state implementate le seguenti funzionalità:

- la modalità di scambio dati e di interazione con CIPCast-ER con la Smart Road e lo Smart Cool Place.
- Il monitoraggio di elementi specifici della rete elettrica e di tratte del sistema viario urbano soggetto ad inondazioni
- le capacità di analisi del grafo stradale per la stima dei percorsi ottimali delle squadre di emergenza.

Quindi, nel corso della presente annualità, le attività realizzate per quanto riguarda la piattaforma DSS CIPCast-ER nella LA1.38 sono suddivisibili in quattro filoni:

- la sperimentazione del veicolo autonomo ipotizzando l'area di test soggetta ad allerta per possibile alluvione;
- la raccolta e scambio dati tra il veicolo e la piattaforma CIPCast-ER per l'acquisizione dei dati di qualità dell'aria e dello stato del manto stradale;
- la raccolta e scambio dati lo Smart Cool Place e la piattaforma CIPCast-ER;
- l'applicazione di tecniche di ottimizzazione del percorso del veicolo intelligente per la ricarica efficiente della rete.

2.3.1 Sperimentazione del veicolo in area soggette ad alert alluvionale

In questa sperimentazione è stata valutata la funzionalità di CIPCast-ER nell'invio al veicolo di alert di tipo di meteorologico/idrologico.

In questo caso, le attività si sono svolte in collaborazione con il DSFC dell'Università dell'Aquila, sulla base degli output della LA1.41: grazie al geoprocessing di più *layer* numerici, è stata prodotta una mappatura dei punti strategici che potrebbero, in un arco temporale "futuro" di 24-48 ore, essere soggetti a fenomeni idrogeologici critici. Si tratta quindi di un *tool* operativo, in grado di funzionare in automatico, a valle delle previsioni meteorologiche ed idrologiche. Lo step d partenza è la complessa catena operativa di simulazioni del CETEMPS¹, che, partendo dalle previsioni meteorologiche a scala globale, le specializza prima in una previsione ad alta risoluzione sul centro Italia e quindi, forzando ulteriormente la risoluzione spaziale, arriva a prevedere la portata dei fiumi in tutti i bacini idrografici che si trovano all'interno del dominio simulato. Quindi, procedure di acquisizione dei dati sensibili e la procedura numerica attraverso cui questi dati sono acquisiti sulla griglia operativa del modello CHyM²

¹ Center of Excellence Telesensing of Environment and Model Prediction of Severe events <http://cetemps.aquila.infn.it/>

² <http://cetemps.aquila.infn.it/chym/>

(CETEMPS Hydrological Model). Infine, tale complessa procedura algoritmica, partendo dalle features del modello idrologico, ha fornito una mappatura delle zone verosimilmente esposte a fenomeni franosi o comunque critici dal punto di vista della stabilità del suolo.

Il primo indice è chiamato BDD, acronimo di *Best Discharge-based Drainage alarm index* ed è calcolato sulla base della portata massima prevista in un certo intervallo di tempo. L'altro indice è di natura più empirica e viene chiamato CAI (*CHyM Alarm Index*). Questo parametro viene calcolato in base alla precipitazione media drenata da ogni singola cella.

Il test è stato effettuato il giorno 15-11-2021 alle ore 10:00 am. Come mostrato in Figura 38, l'indice di attenzione idrologica (BDD) per il reticolo idrografico dell'Italia Centrale mostra una soglia di allerta nell'area del Centro Casaccia (interna al cerchio bianco).

Il workflow di analisi di rischio di CIPCast attivo su base giornaliera ha rilevato la presenza del veicolo (evidenziato dal quadrato rosso) nell'area arancione associata ad un indice BDD compreso tra 11 e 13 (intervallo di Alert). A questo dell'evento di alert meteorologico, CIPCast-ER ha inviato un alert al veicolo attraverso l'invocazione di un web service REST installato sul veicolo contenente il messaggio JSON definito in Figura 39. Tale messaggio definisce l'area di test interessata dal possibile evento in termini di coordinate latitudine e longitudine e il livello dell'allerta.

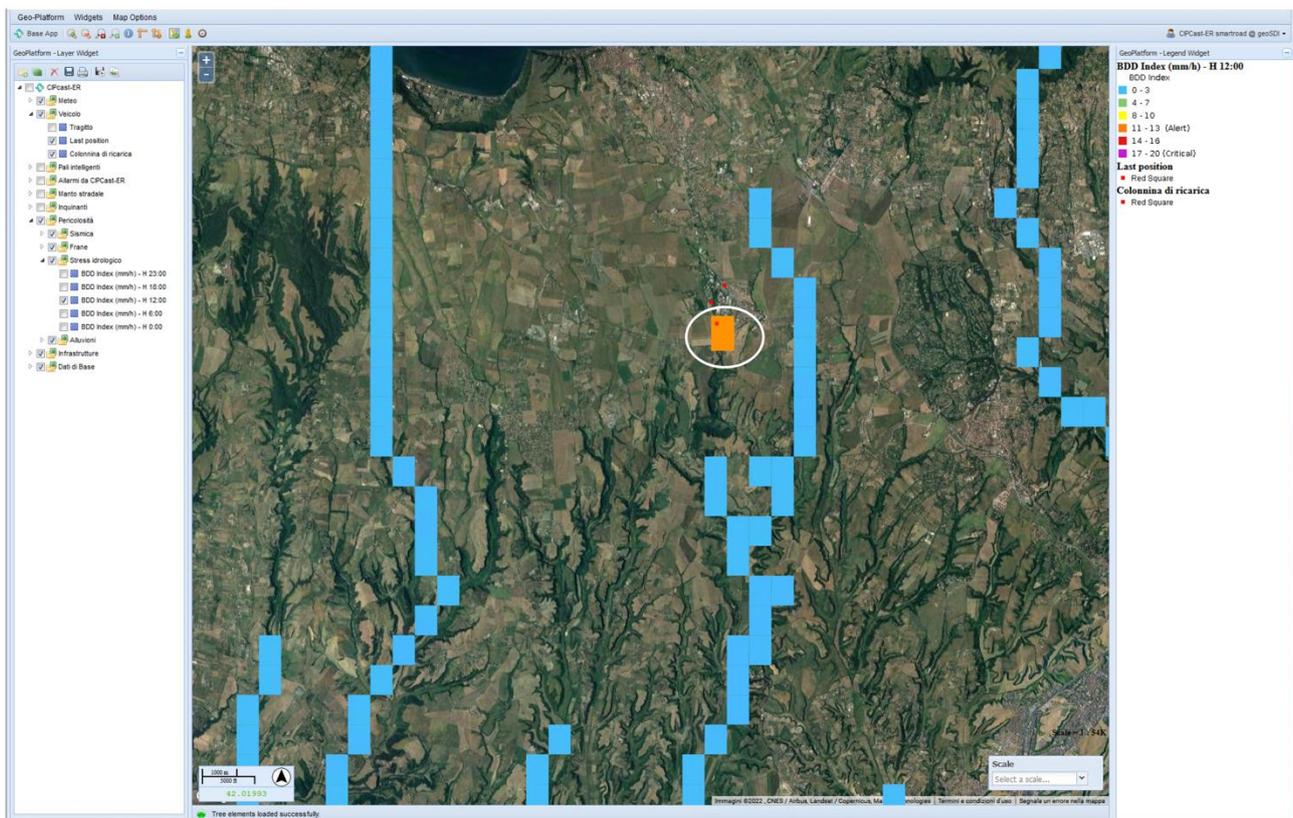


Figura 38. Mappa di alert per stress idrologico (indice BDD) e posizione del veicolo autonomo rilevata il giorno 15-11-2021

```

{
  "vehicleAlarmId": 1,
  "dateAlarm": "04-05-2020 12:32:47",
  "flood":
  {
    "severity": 11-13,
    "unit": "mm/h",
    "affectedArea": {
      "points": [
        {
          "lat": 12.5,
          "lon": 45.4
        },
        {
          "lat": 12.5,
          "lon": 45.3
        },
        {
          "lat": 12.4,
          "lon": 45.4
        },
        {
          "lat": 12.3,
          "lon": 45.3
        }
      ]
    }
  }
}

```

Figura 39. Messaggio JSON di allarme inviato da CIPCast-ER al veicolo

2.3.2 Sperimentazione dello scambio dati tra veicolo e CIPCast-ER

In questa sperimentazione è stata testata la funzionalità di scambio dati tra il veicolo e CIPCast-ER per quanto riguarda l'acquisizione dei dati di qualità dell'aria e dello stato del manto stradale rilevati dal veicolo. In Figura 40, è rappresentata l'architettura software della piattaforma. Attraverso il noto paradigma Model – View - Controller (MVC) è possibile identificare i seguenti componenti:

- **Modello:** include il database di CIPCast-ER che memorizza i dati di campo acquisiti dai diversi sensori e i risultati dell'analisi del rischio. Tali dati sono caratterizzati dal tempo di l'acquisizione, la concentrazione degli inquinanti e lo stato del manto stradale;
- **View:** comprende i componenti dell'interfaccia utente grafica (GUI) in grado di supportare il finale utente finale fornendogli l'insieme dei livelli GIS (ad es. dati sul campo, scenari di impatto) e la sequenza in tempo reale degli eventi in una finestra temporale;

- **Controller:** rappresenta le componenti software responsabili dell'acquisizione dati dei sensori dal veicolo e della generazione di allarmi in caso di concentrazione di inquinanti sopra soglia. La comunicazione tra CIPCast e il veicolo è eseguita tramite l'utilizzo di web service REST.

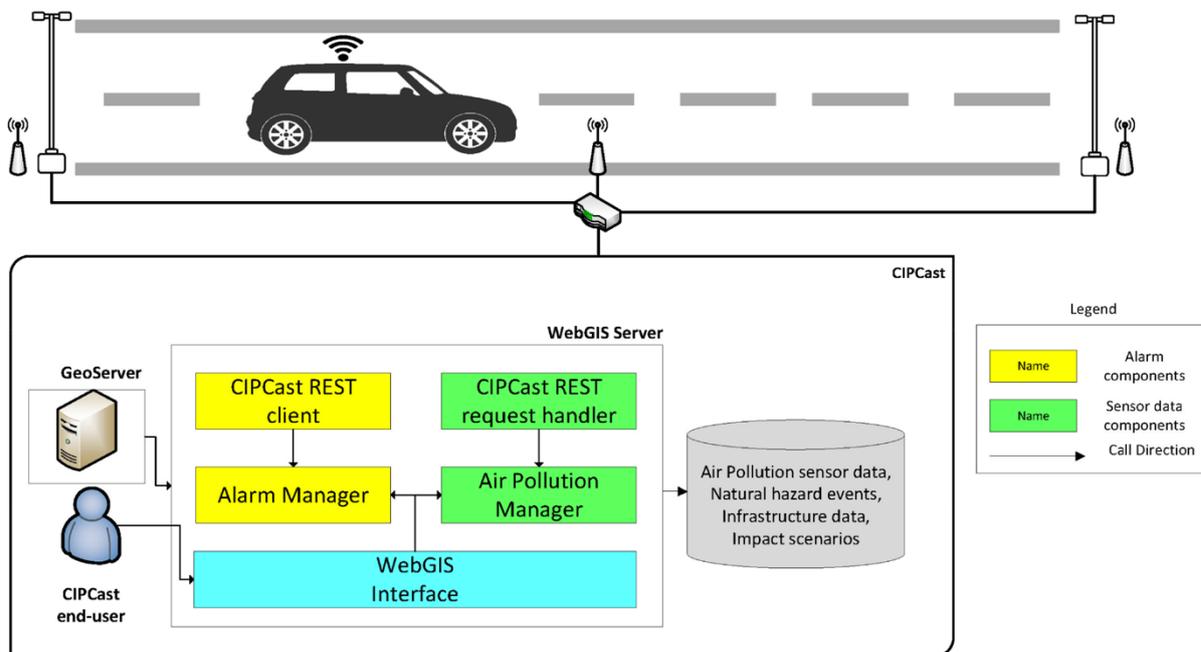


Figura 40. Architettura software per lo scambio dati tra veicolo autonomo e CIPCast-ER

Al fine di gestire ed elaborare i dati raccolti dai sensori del veicolo, CIPCast interagisce con elementi specifici della Smart Road, rappresentati dai pali intelligenti. I veicoli circolando nella Smart road, possono connettersi alla rete informatica tramite punti di accesso installati su alcuni dei pali intelligenti e comunicare i dati raccolti a CIPCast tramite protocolli TCP/IP contenenti messaggi JSON con i dati raccolti.

Tali dati vengono memorizzati nel database di CIPCast e possono essere esportati tramite mappe GIS essendo dati georeferenziati. Le mappe GIS dei vari inquinanti vengono rese disponibili per la visualizzazione attraverso l'interfaccia grafica di CIPCast-ER (Figura 41 e Figura 42)

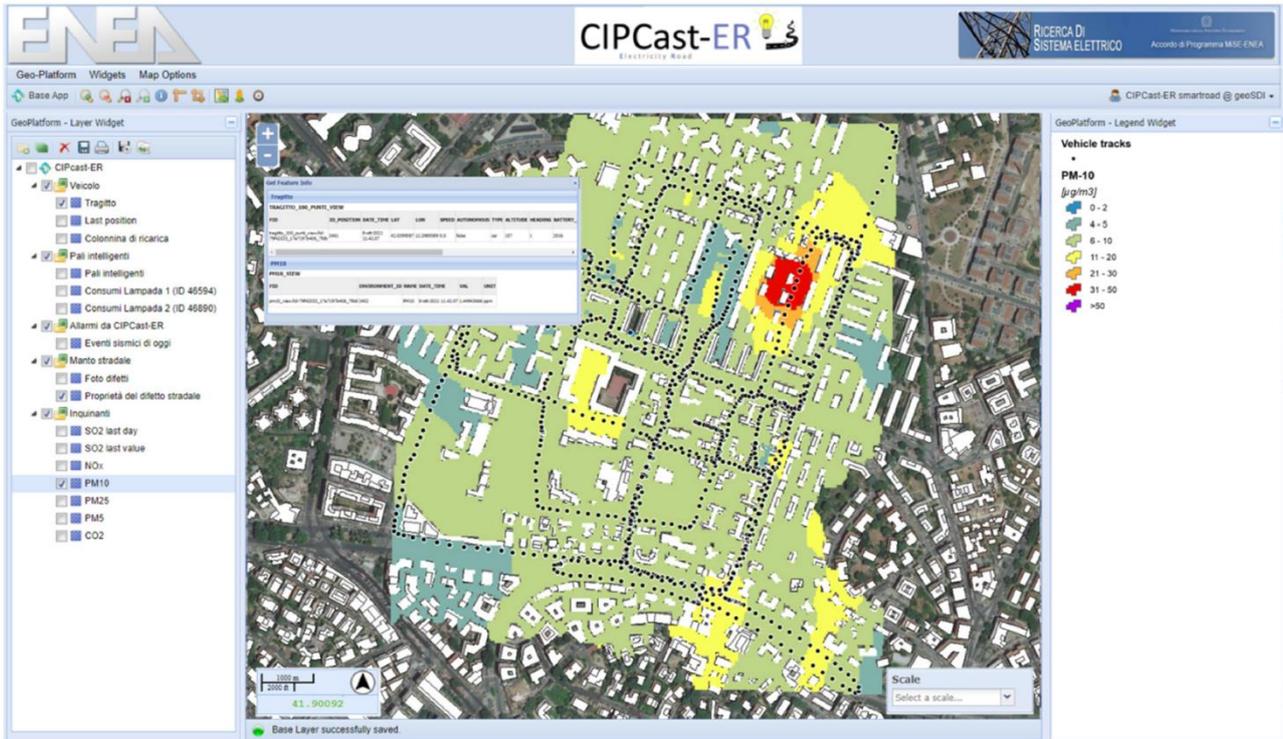


Figura 41. CIPCast-ER: un esempio di visualizzazione della mappa PM-10 all'interno dell'interfaccia grafica

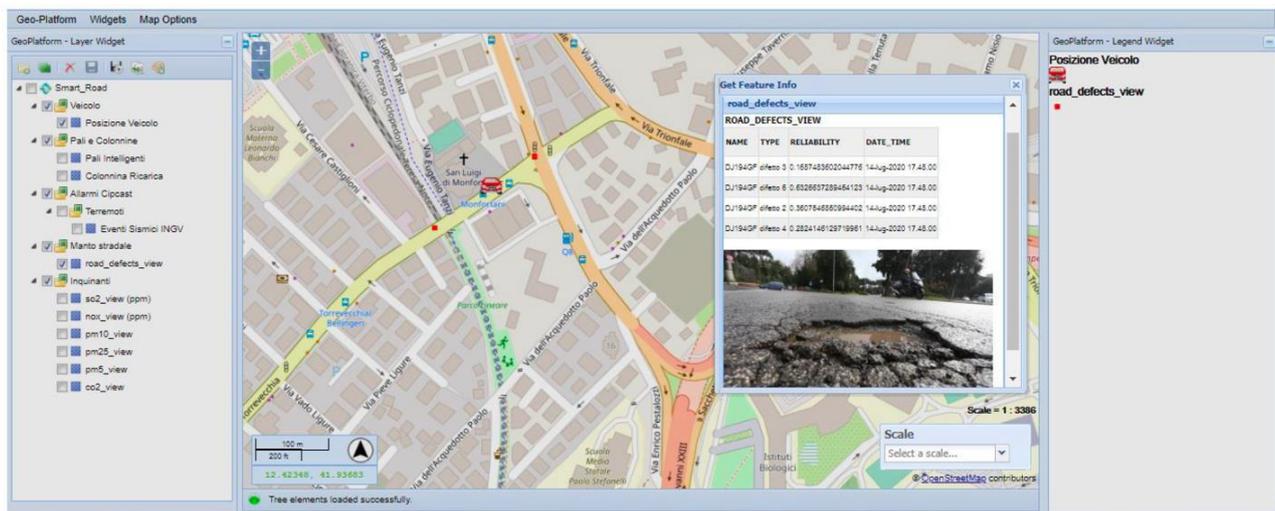


Figura 42 CIPCast-ER: un esempio di visualizzazione dello stato del manto stradale.

2.3.3 Sperimentazione dello scambio dati tra lo Smart Cool Place e la piattaforma CIPCast-ER

In questa sperimentazione è stata valutata la funzionalità di scambio dati tra lo Smart Cool Place, collocato nell'area del centro Casaccia e la piattaforma CIPCast-ER. I dati scambiati hanno riguardato l'acquisizione delle seguenti grandezze nelle giornate del 6, 7, 8 e 9 agosto 2021:

- Temperatura esterna
- Radiazione solare
- Potenza elettrica assorbita
- Potenza prodotta
- Potenza prodotta da impianto
- Stato di ricarica della batteria

L'acquisizione delle grandezze all'interno della piattaforma CIPCast-ES ha permesso la visualizzazione delle stesse attraverso appositi strati informativi GIS.

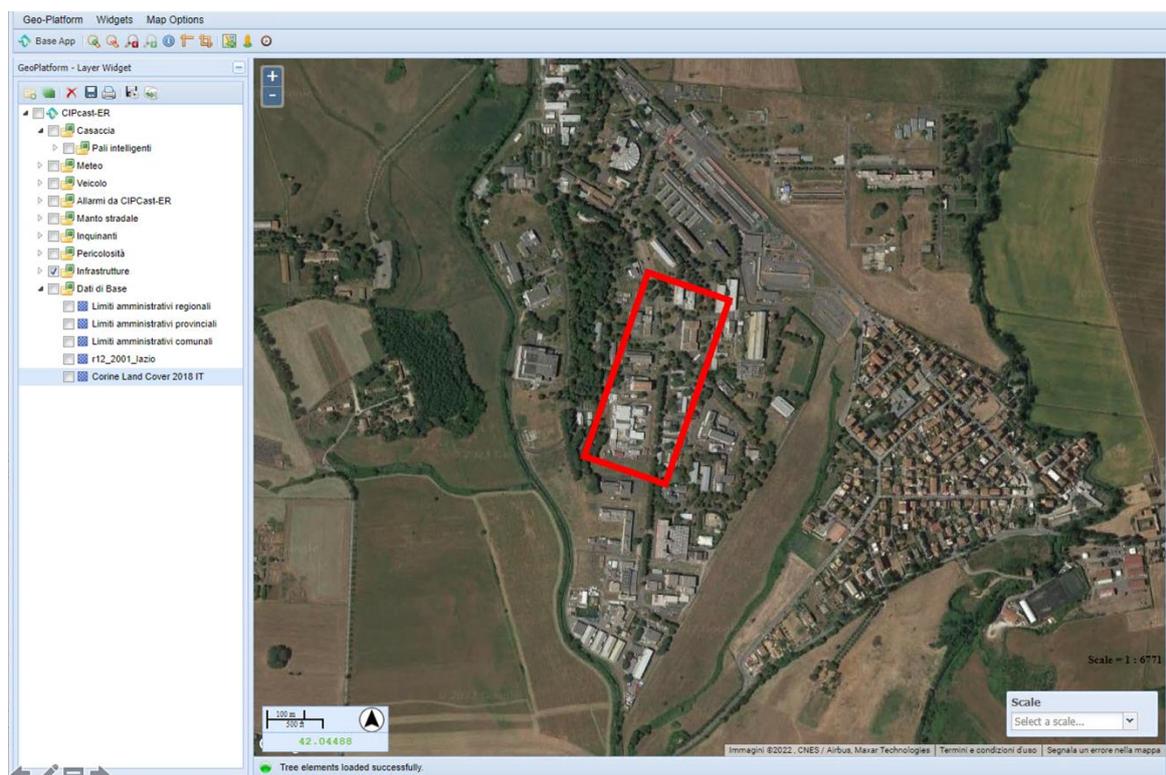


Figura 43. Visualizzazione in CIPCast-ER dell'area del centro Casaccia in cui è collocato lo Smart Cool place

2.3.4 Applicazione di tecniche di ottimizzazione per la realizzazione del *vehicle-to-grid*

La presente attività si basa sui risultati definiti nella linea di attività LA1.42 del progetto “Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali” relativamente all’accordo di collaborazione tra ENEA e il Facoltà Dipartimentale di Ingegneria, Università Campus Bio Medico di Roma. Quest’ultimo ha definito un algoritmo di intelligente per la allocazione ottima di veicoli per la riparazione di cabine di media tensione della rete elettrica di Roma. La presente attività utilizza questa strategia per ottimizzare il percorso dei veicoli autonomi al fine di ottimizzare la rete elettrica.

L’attività ha riguardato l’applicazione di tecniche di ottimizzazione del percorso del veicolo intelligente per l’ottimizzazione dell’efficienza della rete elettrica. In particolare, è stata realizzato un test che ha permesso di valutare la fattibilità della funzionalità nota come *vehicle-to-grid* (V2G). Questa tecnologia permette la comunicazione bidirezionale tra rete e auto elettrica. La batteria della vettura non viene solo caricata ma può cedere energia alla rete così da stabilizzarne la domanda in occasione dei picchi che ne metterebbero a rischio la stabilità.

È noto come, in estate, l’accensione contemporanea di più climatizzatori possa impattare sulla cabina elettrica di zona. In questo caso si tratta di un picco di richiesta di potenza da parte delle case verso la rete elettrica che, essendo progettata con un limite massimo, ha dei limiti proprio come è limitata la potenza nelle nostre case che causano i problemi di carico e quindi producono eventi di blackout. In uno scenario con un numero elevato di auto elettriche, con migliaia di queste concentrate nella stessa zona, la ricarica simultanea può creare gli stessi problemi dei climatizzatori ma, paradossalmente, può anche risolverli. Le batterie delle auto in carica possono infatti cedere per micro-fluttuazioni la loro energia alla rete, diventando la chiave che stabilizza.

Seguendo il criterio appena esposto, è stato progettato uno scenario in cui un certo numero di veicoli elettrici in movimento in ambiente urbano, possano provvedere alla ricarica della rete elettrica dando priorità alle stazioni elettriche più sovraccaricate. Tale strategia renderebbe la rete più efficiente diminuendo la probabilità di blackout e potrebbe essere agevolata prevedendo ad esempio dei meccanismi di incentivazione per gli automobilisti che mettono a servizio della rete la propria.

In particolare, l’attività ha dunque riguardato l’utilizzo di tecniche di ottimizzazione e di analisi del grafo stradale. In particolare, sono stati definiti i seguenti obiettivi:

- Analisi del grafo stradale della città di Roma in funzione delle tratte eventualmente interrotte/congestionate a causa di eventi naturali (e.g., sismici, meteorologici) per la ricerca di aree a maggiore priorità per la presenza di importanti Punti di Interesse (PI) della città;
- Pianificazione ottima dei percorsi dei veicoli autonomi per il raggiungimento di PI strategici della città (e.g. prefettura, ospedali);

In pratica si è definito un *problem setting* relativo all’allocazione di più veicoli per la ricarica di cabine elettriche di media tensione dislocate in diverse aree urbane. La strategia proposta combina il processo decisionale multi-criterio ed il *task assignment*. In dettaglio, viene associato una metrica di costo ad ogni equipaggio in base all’importanza dell’area nella quale si trova la cabina elettrica. La fase di task

assignment della metodologia proposta mira ad assegnare i veicoli alle cabine, minimizzando un indice di costo sulla base del cosiddetto Algoritmo Ungherese.

La Figura 44 mostra il risultato della applicazione della strategia di ottimizzazione. In particolare, è possibile notare il percorso dei veicoli autonomi verso le stazioni di media tensione tendendo conto dei seguenti fattori:

- dell'importanza dell'area da rialimentare,
- dell'urgenza di ricarica della rete
- delle condizioni di traffico per raggiungere la stazione
- della quantità di batteria disponibile per il veicolo.

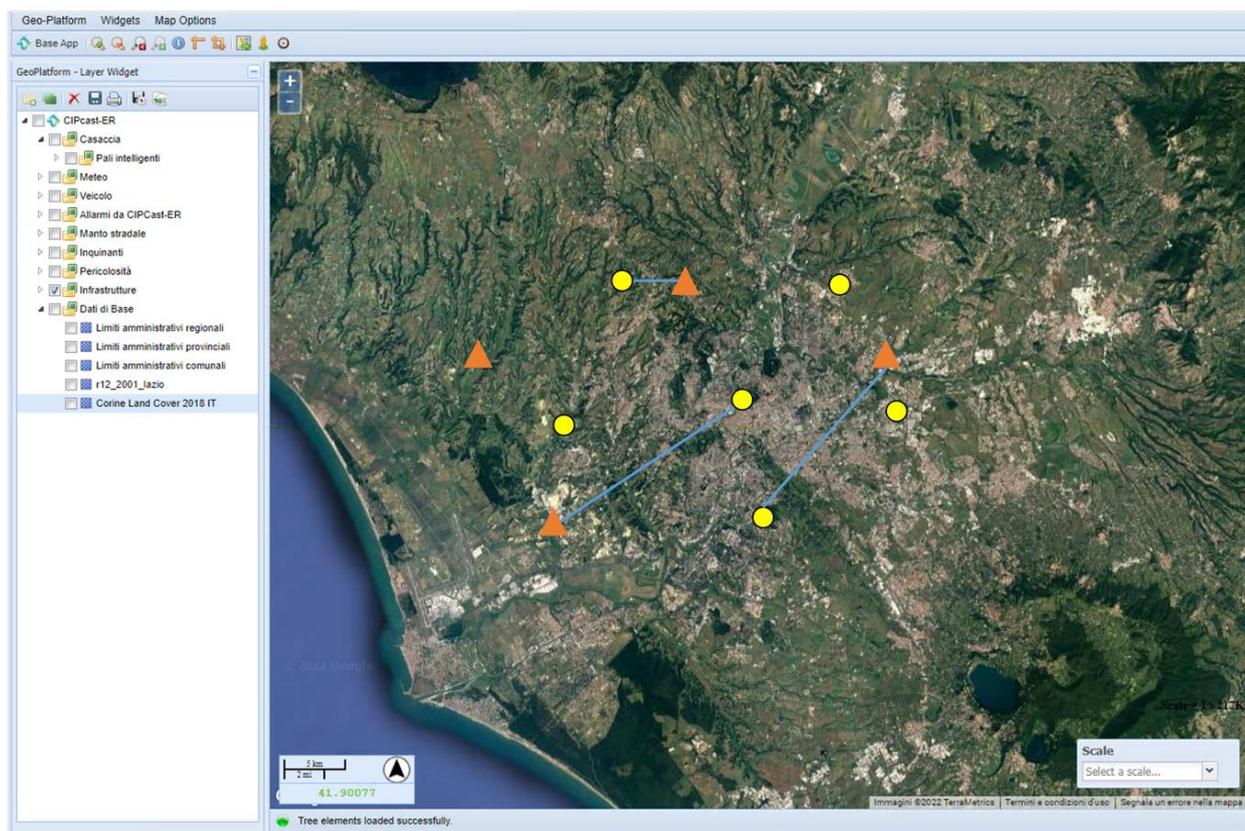


Figura 44. CIPCast-ER: Mappa che mostra le cabine elettriche di ricarica (cerchi gialli), la posizione iniziale dei veicoli (diamanti gialli) e gli incarichi in base al costo associato. Le posizioni sono state rese anonime per motivi di riservatezza

3 Conclusioni

Smart Road

Le attività della terza annualità si sono concentrate sugli aspetti maggiormente sperimentali. Si è infatti proceduto a compiere tutte quelle attività sperimentali e di calibrazione necessarie alla messa in funzione del veicolo autonomo elettrico. Tra queste attività, oltre alla calibrazione dei sensori geometrici del veicolo (LIDAR e telecamere), si sono compiute campagne di acquisizioni dati per poter creare un modello geometrico tridimensionale dell'ambiente, necessario all'autolocalizzazione del veicolo nell'ambiente.

In aggiunta sono stati integrati a bordo i sensori sviluppati nelle precedenti annualità (stato del manto stradale e inquinanti atmosferici), che rappresentano il payload di misura che permette alla smart city di raccogliere informazioni diffuse sul territorio. Si è collaudata la comunicazione nei due sensi tra veicolo e CIPCast-ER, che rappresenta il cuore operativo della Smart Road, validando il canale di comunicazione con la infrastruttura intelligente e compiendo una serie di test funzionali di trasmissione da e per il veicolo.

Quale passo finale sono state effettuate delle campagne sperimentali di movimento del veicolo sia in modo teleguidato che autonomo. Nel primo caso un operatore controlla uno sterzo sulla base delle immagini raccolte dal veicolo su di una consolle remota connessa via radio con l'auto. Nel secondo, sulla base dei modelli dell'ambiente e tramite l'inserimento di una traiettoria per *waypoint*, il veicolo è in grado di seguire la traiettoria evitando eventuali ostacoli. Questa seconda attività in coordinamento con il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia (LA1.44). Dal punto di vista della infrastruttura fisica, si è proceduto alla realizzazione di una prima versione di test composta dalla sensoristica prevista, ma montata su soli quattro pali dell'illuminazione, compiendo test funzionali di controllo e lettura dei dispositivi montati. E' stata poi completata l'intero insieme dei pali previsti

Smart Cool Place

L'attività sul tema del controllo del microclima urbano con sistemi di nebulizzazione dell'acqua è stata, come in molti casi, inevitabilmente influenzata dalla pandemia da Covid 19. Per questa attività il maggiore problema è stato di non poter installare l'impianto dimostrativo nel centro di Roma, come inizialmente programmato, in modo da poter approfondire il comportamento e le preferenze di un'utenza composita, oltre che gli aspetti tecnologici. Questi sono stati tuttavia analizzati installando il dimostratore nel Centro Ricerche Casaccia di ENEA, potendo scegliere una soluzione alternativa e complementare rispetto a quelle analizzate nelle Linee di Attività delle Università coinvolte, ossia una installazione di tipo *semi-enclosed*, con tettoia e, parzialmente, con schermature laterali. Gli studi hanno evidenziato come la distribuzione delle temperature sia sufficientemente uniforme rispetto all'altezza dell'individuo medio, in termini di potenziale di raffrescamento sono stati rilevati salti termici fino a quasi 10°C sulla frequenza al minuto e fino a quasi 8°C sul dato giornaliero, nel caso di funzionamento continuo del sistema. Questo potenziale è spesso sovradimensionato rispetto alle condizioni ambientali, come evidenziato dal monitoraggio automatizzato in base all'indicatore di comfort MOCI, questa

strategia si è dimostrata fondamentale per evitare fenomeni di *overcooling* nell'aria climatizzata ma anche per la gestione più attenta delle risorse idriche ed energetiche, dal momento che la richiesta di attivazione del sistema è avvenuta soltanto nel 44% del periodo. L'impianto fotovoltaico con accumulo si è dimostrato ampiamente sufficiente per garantire l'autonomia energetica e, in considerando la geometria del sistema, uno smart cool place potrebbe produrre energia sufficiente per garantire servizi di ricarica elettrica multifunzionali alla comunità urbana.

Alla luce dei risultati del triennio una serie di aspetti merita attenzione per futuri sviluppi:

- Applicazione in un reale ambito urbano, mirato a valutare gli impatti benefici per la popolazione esposta al surriscaldamento estivo e la gestione delle risorse su base stagionale; questi aspetti potrebbero essere opportunamente integrati in schemi di comunità energetica di edificio o di quartiere.
- Attività in collaborazione con aziende per la realizzazione di oggetti ad elevato livello di integrazione architettonica urbana.
- Approfondimento numerico e sperimentale circa la misura e il calcolo della temperatura media radiante, per un'accurata stima degli indicatori di comfort, al fine di gestire in modo ottimizzato l'accensione e lo spegnimento degli impianti.
- Sviluppo di (elementi di) piattaforme *web-based* per informare la popolazione sul rischio di onde di calore e elevata isola di calore urbana e, contestualmente, fornire informazioni sulla presenza e il funzionamento di shelter urbani con microclima migliorato.

CIPCast-ER

Lo sviluppo della piattaforma CIPCast-ER e della sua messa in opera hanno permesso l'integrazione di componenti diversi quali la Smart road, costituita anche dall'insieme dei pali intelligenti, del veicolo e dello Smart Cool Place. Grazie a questa integrazione, la piattaforma CIPCast-ER è stata dotata di funzionalità di acquisizione e visualizzazione dei dati, monitoraggio degli eventi naturali, di generazione di allarmi, di supporto al veicolo e di efficientamento della rete elettrica e rese disponibili all'utente finale attraverso opportuni elementi dell'interfaccia grafica.

La funzionalità di acquisizione dati ha riguardato l'integrazione in CIPCast-ER dei consumi elettrici delle lampade, dei dati ambientali del veicolo (i.e., concentrazioni di inquinanti, temperatura, umidità), della posizione in tempo reale del veicolo, della qualità del manto stradale, degli allarmi generati dal veicolo, dei dati ambientali ed elettrici dello Smart Cool Place (i.e., temperatura, radiazione solare, potenza prodotta e stato della batteria). La funzionalità di monitoraggio degli eventi naturali ha permesso di acquisire real-time le previsioni degli eventi meteorologici intensi (piogge) e l'acquisizione di eventi sismici rilevanti. Sono state inoltre integrate le mappe di rischio degli eventi franosi. Per quanto riguarda la capacità di generazione degli allarmi, questa ha riguardato la possibilità di allertare il veicolo che nel caso in cui esso si trovi in aree interessate da eventi meteorologici e sismici intensi o qualora il veicolo si trovi in aree storicamente sensibili ad eventi franosi. La capacità di supporto al veicolo ha riguardato la possibilità di suggerire al veicolo la colonnina di ricarica più vicina alla destinazione finale sulla base dello

stato di carica della batteria e del percorso di viaggio. La funzionalità di efficientamento della rete elettrica ha riguardato la possibilità di implementare la tecnologia *Vehicle to Grid* per la ricarica della rete elettrica attraverso una metodologia che tiene conto dello stato della batteria, del sovraccarico della rete e del grado di criticità dell'area servita dalla rete.

4 Riferimenti bibliografici

1. S. Chiesa, A. Di Pietro, L. La Porta, V. Nanni, F. Pieroni, M. Pollino, A. Scognamiglio, S. Taraglio, M. Zinzi (ENEA), L. Martinelli (CNR-ISPC) e G. Ulpiani (University of Sidney). Definizione requisiti e specifiche per il monitoraggio della qualità e l'analisi sicurezza delle infrastrutture urbane. ENEA Technical Report, Report RdS/PTR(2019)/009, Dic. 2019
2. S. Chiesa, A. Di Pietro, L. La Porta, V. Nanni, F. Pieroni, M. Pollino, S. Taraglio, M. Zinzi. Sviluppo di applicazioni per il monitoraggio della qualità e l'analisi sicurezza delle infrastrutture urbane. ENEA Technical Report, Report RdS/PTR(2020)/024, Apr 2021
3. Beltrán, J., Guindel, C., and García, F. (2021). Automatic Extrinsic Calibration Method for LiDAR and Camera Sensor Setups. arXiv:2101.04431 [cs.RO]. Submitted to IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
4. Pollino M. & Taraglio S.: "Città sicure e sostenibili/Safe and sustainable cities". In: Meloni C. & Clerici Maestosi P. (eds.), *Transizioni urbane sostenibili/Sustainable urban transitions*, Maggioli Spa, pp. 159-174, 2021, ISBN 978-88-916-5073-3, DOI <https://doi.org/10.30448/UNI.916.50733>
5. Pollino M. & Taraglio S.: "La Smart Road/Smart Roads". In: Meloni C. & Clerici Maestosi P. (eds.), *Transizioni urbane sostenibili/Sustainable urban transitions*, Maggioli Spa, pp. 175-188, 2021, ISBN 978-88-916-5073-3, DOI <https://doi.org/10.30448/UNI.916.50733>
6. S Taraglio, S Chiesa, L La Porta, M Pollino, M Verdecchia, B Tomassetti, V Colaiuda, A Lombardi: "Decision Support System for smart urban management: resilience against natural phenomena and aerial environmental assessment". *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, Vol. 24, 2019
7. Stefano Chiesa, Maurizio Pollino, Sergio Taraglio: "A Mobile Small Sized Device for Air Pollutants Monitoring Connected to the Smart Road: Preliminary Results". In: Gervasi O. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020. Lecture Notes in Computer Science*, vol 12253. Springer, Cham, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58814-4_37
8. Chiesa, S.; Di Pietro, A.; Pollino, M.; Taraglio, S. Urban Air Pollutant Monitoring through a Low-Cost Mobile Device Connected to a Smart Road. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2022, 11, 132. <https://doi.org/10.3390/ijgi11020132>