



Ricerca di Sistema elettrico

Definizione requisiti e specifiche per il monitoraggio della qualità e l'analisi sicurezza delle infrastrutture urbane

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

DEFINIZIONE REQUISITI E SPECIFICHE PER IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ E L'ANALISI SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE URBANE

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)

Dicembre 2019

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo: Tecnologie

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

Work package 1: Local Energy District

Linea di attività: 36 - Definizione requisiti e specifiche per il monitoraggio della qualità e l'analisi sicurezza delle infrastrutture urbane

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Si ringraziano l'arch. Martinelli e l'ing. Ulpiani per la collaborazione volontaria alla stesura del report.

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	8
2.1 SMART ROAD	8
2.1.1 <i>L'infrastruttura</i>	12
2.1.2 <i>Il veicolo autonomo</i>	17
2.1.3 <i>Operatività del sistema</i>	24
2.2 CIPCAST-ER	27
2.2.1 <i>L'applicazione CIPCast-ER</i>	28
2.2.2 <i>Schema concettuale</i>	31
2.2.3 <i>Architettura software</i>	35
2.2.4 <i>Modello concettuale del database</i>	37
2.2.5 <i>Software e Tecnologie utilizzate</i>	40
2.3 SMART COOL PLACE	44
2.3.1 <i>Sugli indicatori di comfort termico outdoor</i>	44
2.3.2 <i>Sul potenziale di mitigazione dei sistemi evaporativi</i>	55
2.3.3 <i>Sulla integrazione architettonica e funzionale a scala urbana</i>	58
2.3.4 <i>Sull'autosufficienza energetica dei sistemi evaporativi</i>	64
3 CONCLUSIONI	68
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	71
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI	75

Sommario

Le attività descritte nel presente Report, partendo da una serie di risultati raggiunti nello scorso triennio (PAR2015-2018) ed individuando una serie di nuovi sviluppi, hanno riguardato le tematiche “Smart Roads” e “Smart Cool Place” in coordinamento con la piattaforma “CIPCast-ER” (Electricity & Roads). L’obiettivo è stato quello di sviluppare un approccio integrato per il monitoraggio della qualità e l’analisi della sicurezza delle infrastrutture e dell’ambiente urbano, con particolare riferimento al sistema elettrico e a quello stradale. Nello specifico, le attività della prima annualità sono state dedicate all’analisi dello stato dell’arte, allo studio di fattibilità e all’analisi dei requisiti.

1 Introduzione

In un'area urbana i processi decisionali, sia in situazioni ordinarie che in situazioni critiche, dipendono anche dalla disponibilità e dall'analisi mirata di un ampio set di informazioni, relative alla sicurezza, alla qualità ed al funzionamento delle infrastrutture tecnologiche che rappresentano servizi primari (come i sistemi elettrici e di trasporto), nonché al monitoraggio ambientale e del territorio. Nell'attuale quadro di riferimento tecnico-scientifico, il monitoraggio urbano e la gestione delle infrastrutture, con particolare riguardo a quelle elettriche e viarie, richiedono l'individuazione di soluzioni in grado di affrontare organicamente le molteplici esigenze e problematiche, di tipo tecnologico, ambientale, etc.

A tal fine, i processi decisionali (facenti capo a vari soggetti, quali gli operatori e gestori dei servizi, le amministrazioni comunali, i pianificatori, etc.) devono poter gestire ed esaminare le situazioni di carattere ordinario e straordinario relative ai servizi urbani e, conseguentemente, definire operazioni/strategie da attuare per rispondere a determinate esigenze. Un simile approccio, tra le altre cose, consente di migliorare la qualità dei servizi stessi, facendo leva su un ampio insieme di informazioni provenienti dai diversi settori (infrastrutture, ambiente, etc.).

ENEA ha partecipato e partecipa a vari progetti EU e Nazionali, nel cui ambito sono stati studiati e definiti una serie di strumenti ed approcci innovativi per rispondere alle suddette esigenze, anche a supporto di *stakeholder* interessati (ad esempio, operatori di infrastrutture tecnologiche, policy makers, autorità di Protezione Civile, etc.). Inoltre, nel caso della tematica relativa alle cosiddette “smart road”, sono state poste le basi conoscitive e messe a fattor comune le competenze integrate da cui proviene il *know-how* che ENEA sta utilizzando nell'ambito del presente triennio di attività di Ricerca di Sistema Elettrico. Nel complesso, l'obiettivo è lo sviluppo avanzato di una serie di strumenti operativi e funzionali, tra essi coordinati ed interoperabili, che si concretizza negli approcci oggetto delle presenti attività.

Nel presente Report, pertanto, vengono descritte le attività che si inseriscono nel sopra citato contesto urbano e tecnologico e che afferiscono alla **Linea di attività 36 “Definizione requisiti e specifiche per il monitoraggio della qualità e l'analisi sicurezza delle infrastrutture urbane”** del Progetto “Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali”, Work package “Local Energy District”.

Esse sono partite anche da una serie studi e di risultati raggiunti nello scorso triennio di attività nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico (PAR2015-2017 e PAR 2018) e si sono focalizzate sia sulla definizione di ulteriori sviluppi ed ampliamenti di quanto in precedenza implementato, sia sulla definizione di nuovi approcci e metodologie da integrare con i precedenti. In particolare, le attività hanno riguardato le tematiche “Smart Road” e “Smart Cool Place” in coordinamento con la piattaforma “CIPCast-ER” (Electricity & Roads). L'obiettivo è stato quello di sviluppare un approccio integrato per il monitoraggio della qualità e l'analisi della sicurezza (*risk assessment*) delle infrastrutture e dell'ambiente urbano, con particolare riferimento al sistema elettrico e a quello stradale.

In concreto, le attività della prima annualità sono state dedicate all'analisi dello stato dell'arte, allo studio di fattibilità e all'analisi dei requisiti di un approccio che mira alla qualità, al monitoraggio ed alla sicurezza dei servizi urbani, declinati secondo gli ambiti applicativi di seguito descritti.

Smart Road

L'attività ha riguardato lo studio di ambienti urbani smart sensorizzati per la circolazione di veicoli elettrici e autonomi. L'obiettivo complessivo di questo ambito applicativo è la realizzazione di una infrastruttura stradale intelligente, basata su pali dell'illuminazione che dialoghino con veicoli elettrici autonomi. A tal fine, è stato studiato e definito l'approccio implementativo di questo dialogo. Esso prevede, in un verso, la raccolta di dati di monitoraggio delle infrastrutture urbane e dell'ambiente circostante misurati dal veicolo, nonché delle necessità energetiche dei veicoli. Nell'altro verso, invece, l'infrastruttura fornisce informazioni o servizi utili al veicolo quali, ad esempio, lo stato aggiornato della rete stradale o dei servizi. A tal fine, si è effettuato uno stato dell'arte delle smart road, in ambito nazionale ed Europeo.

Dal punto di vista dello sviluppo, sono stati definiti i requisiti e le specifiche del sistema. Si è operato lungo tre direttrici: l'infrastruttura e la sua definizione, il veicolo autonomo e la sua dotazione sensoristica e il sistema di comunicazione con il relativo protocollo. L'analisi dei requisiti e la definizione dei casi d'uso è stata svolta in modo coordinato con lo sviluppo dell'applicativo CIPCast-ER.

È stato, infine, individuato un sito di prova nel Centro Ricerche ENEA di Casaccia, dove installare l'infrastruttura intelligente.

CIPCast-ER

Nel corso delle attività del precedente triennio di Ricerca di Sistema Elettrico (PAR 2015-2017 e PAR 2018), ENEA ha portato avanti lo sviluppo e l'implementazione del Sistema di Supporto alle Decisioni (*Decision Support System, DSS*) di tipo *GIS-based*, denominato **CIPCast**, con finalità operative e di simulazione, concepito come piattaforma per la sicurezza delle infrastrutture critiche (IC), con particolare riguardo al sistema elettrico ed alle sue vulnerabilità. Partendo, pertanto, dai tale risultato, nel corso della presente annualità di questo nuovo triennio si è proceduto alla definizione di un nuovo e specifico modulo applicativo all'interno dell'esistente Piattaforma CIPCast, finalizzato al monitoraggio, all'allertamento e all'analisi del rischio delle infrastrutture urbane, con particolare riguardo al sistema elettrico e quello stradale. Tale evoluzione della Piattaforma, è stata denominata **CIPCast-ER (*Electricity & Roads*)**.

Nello specifico, le attività di questa prima annualità si sono concentrate sul modello concettuale, sull'analisi dei requisiti, sul modello dei dati e sull'architettura software. Sono stati, innanzitutto, analizzati casi d'uso che definiscono le interazioni con gli altri ambiti applicativi relativi alla sicurezza, qualità e monitoraggio dei servizi urbani (portati avanti nella presente annualità) e le relative alle

tematiche Smart Road e Smart Cool Place. Quindi, è stato definito il Data Model ed è stata effettuata la catalogazione dei dati necessari agli sviluppi applicativi. È stata, infine, avviata la definizione dell'architettura software su cui si basano le funzionalità specifiche all'interno di CIPCast-ER per rispondere alle suddette esigenze.

Negli sviluppi della presente Linea di Attività e di quelle delle annualità successive (LA 37 e LA 38), CIPCast-ER assolverà ad un ruolo nodale di raccolta e condivisione dati ed informazioni, nonché alla gestione di aspetti computazionali ed elaborativi.

Smart Cool Place

È stata eseguita una ricerca sullo stato dell'arte su sistemi di raffrescamento evaporativo a scala urbana e delle prime analisi esplorative, al fine di individuare potenzialità e limiti della tecnologia. Questa fase è di fondamentale importanza, perché permette di meglio orientare le attività di ricerca e sviluppo nelle prossime due annualità, riguardando i temi principali, ossia: miglioramento del comfort e delle condizioni di vita, integrazione nel tessuto urbano, complessità tecnologica e costruttiva delle soluzioni analizzate, funzionalità smart city eventualmente implementate come supporto/integrazione alla tecnologia microclimatica, utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e riciclo idrico l'autosufficienza e l'ottimizzazione dell'uso delle risorse.

Lo stato dell'arte si è focalizzato sugli aspetti tecnologici, architettonici e di comfort, con l'obiettivo di un'azione di screening finalizzata agli sviluppi da intraprendere nelle successive annualità. È stato, infine, definito il quadro funzionale che dovrà indirizzare lo sviluppo progettuale ed applicativo successivo, che terrà conto di parametri: energetici, ambientali, sociali.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Smart Road

“I trasporti rivestono un ruolo centrale per lo sviluppo economico e sociale di ogni Paese. Un sistema di trasporto efficiente consente di creare nuovi mercati e di potenziare quelli esistenti; costituisce, pertanto, una leva essenziale per sostenere una crescita economica forte e favorire l’occupazione e la ricchezza. In un periodo in cui è fondamentale per qualsiasi sistema produttivo riuscire a vincere la sfida del mercato competitivo “globale”, un sistema di trasporto non efficiente riduce le possibilità di raggiungere nuovi mercati, allontana l’orizzonte degli scambi, comprime la capacità produttiva, limita le potenzialità di crescita economica e sociale” [1].

In generale il trasporto va considerato come un sistema integrato e soprattutto dinamico dove controllo, informazione e gestione operino in modo sinergico e sincrono. Quest’idea, ormai diffusa a livello globale, si manifesta nei cosiddetti ITS (*Intelligent Transportation System*) introdotti dalla Direttiva comunitaria 2010/40/UE. I settori prioritari ivi individuati sono:

- l’uso ottimale dei dati relativi alle strade, al traffico e del trasporto merci;
- la continuità dei servizi ITS di gestione del traffico e del trasporto merci;
- le applicazioni ITS per la sicurezza stradale e per la sicurezza (security) del trasporto;
- il collegamento tra i veicoli e l’infrastruttura stradale.

Sorvolando sui dettagli della direttiva, va sottolineato che l’introduzione di sistemi intelligenti per il trasporto nel mondo ha permesso di quantificare i benefici apportati dagli ITS in diversi Paesi sia europei che negli Stati Uniti. Questi benefici sono riassunti in Tabella 1.

Tabella 1. Benefici apportati dagli ITS

Riduzione tempi di spostamento	~20%
Aumento della capacità della rete	5 ÷ 10%
Diminuzione del numero di incidenti	10 ÷ 15%
Diminuzione delle congestioni	~15%
Riduzione delle emissioni inquinanti	~10%
Riduzione dei consumi energetici	~12%

Questo Report presenta le attività svolte nella prima annualità (2019) della Linea di Attività 36 dedicate all'ambito applicativo **Smart Road** (SR), che può essere logicamente inserito tra i quattro settori prioritari elencati precedentemente nel “collegamento tra i veicoli e l'infrastruttura stradale” e nelle “applicazioni ITS per la sicurezza stradale”.

L'ambito applicativo Smart Road afferisce ai progetti di ricerca individuati dal Piano Triennale 2019-2021 della Ricerca di Sistema elettrico nazionale (RdS) nel Progetto “Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali” e, in particolare, del Work Package “Local Energy Districts” nella parte che si occupa del sistema infrastrutturale viario. Allo stesso tempo esso ha una evidente attinenza anche con il Progetto “Scenari e strumenti per la mobilità elettrica e relativa integrazione e interazione con il sistema elettrico” per la parte di mobilità elettrica e interazione con il sistema elettrico [2].

Le attività Smart Road vertono sullo studio di ambienti urbani smart equipaggiati con sensori per l'interazione con veicoli elettrici e autonomi. Obiettivo è la realizzazione di una infrastruttura stradale intelligente, basata su pali dell'illuminazione, in grado di divenire un mezzo di comunicazione tra i veicoli elettrici, autonomi e non, da una parte e la Smart City dall'altra. Questo dialogo prevederà, in un verso, la raccolta di dati di monitoraggio delle infrastrutture urbane e dell'ambiente circostante misurati dal veicolo, nonché delle necessità energetiche dei veicoli e dei loro dati operativi. Nell'altro verso, l'infrastruttura fornirà informazioni o servizi utili al veicolo quali, ad esempio, lo stato aggiornato della rete stradale, dei servizi o eventuali segnali di allarme legati a fenomeni esterni quali allerte meteo o simili. Naturalmente la Smart Road risulterà abilitante anche per il dialogo *Vehicle to Vehicle* (V2V) che, però non è argomento del presente tema 1.7.

Le attività SR sono svolte in stretto contatto con quelle relative a **CIPCast-ER** (descritte in dettaglio in seguito, vedi paragrafo 2.2). Infatti, il flusso dati dal veicolo, attraverso l'infrastruttura intelligente, viene concentrato proprio nel sistema CIPCast-ER ed è quest'ultimo che provvede a diramare, qualora necessario, gli allarmi concernenti allerte meteo o, ad esempio, lo stato della strada ai veicoli. La Smart Road è altresì coordinata anche con l'ambito applicativo **Smart Cool Place**, in quanto contribuisce a raccogliere i dati atmosferici nell'agglomerato urbano utili alle attività di mitigazione delle situazioni cosiddette di “*heat waves*” o “isole di calore” (vedi paragrafo 2.3).

Per ciò che attiene più da vicino alla Ricerca di Sistema Elettrico è opportuno qui chiarire che i veicoli, tra gli altri dati, comunicano all'infrastruttura, e di qui al CIPCast-ER, anche la propria situazione energetica e di viaggio. Più in dettaglio, ci si riferisce allo stato di carica della batteria, all'autonomia residua, alla destinazione del viaggio e all'ETA (*Estimated Time of Arrival*). Questo permetterà al sistema di poter indirizzare i veicoli verso le stazioni di ricarica più opportune in modo da ottenere nel complesso tre vantaggi:

- l'effettiva ricarica del singolo veicolo da colonnine libere, vicine alla destinazione finale del veicolo;

- la possibilità di utilizzare la carica parziale di veicoli che abbiano ancora sufficiente energia a bordo nella configurazione V2G (*Vehicle to Grid*), ove necessario, cioè nel caso di una carenza locale di energia elettrica;
- diminuire lo stress sul sistema di distribuzione elettrica potendo distribuire in modo più razionale i veicoli nell'insieme dei punti di ricarica.

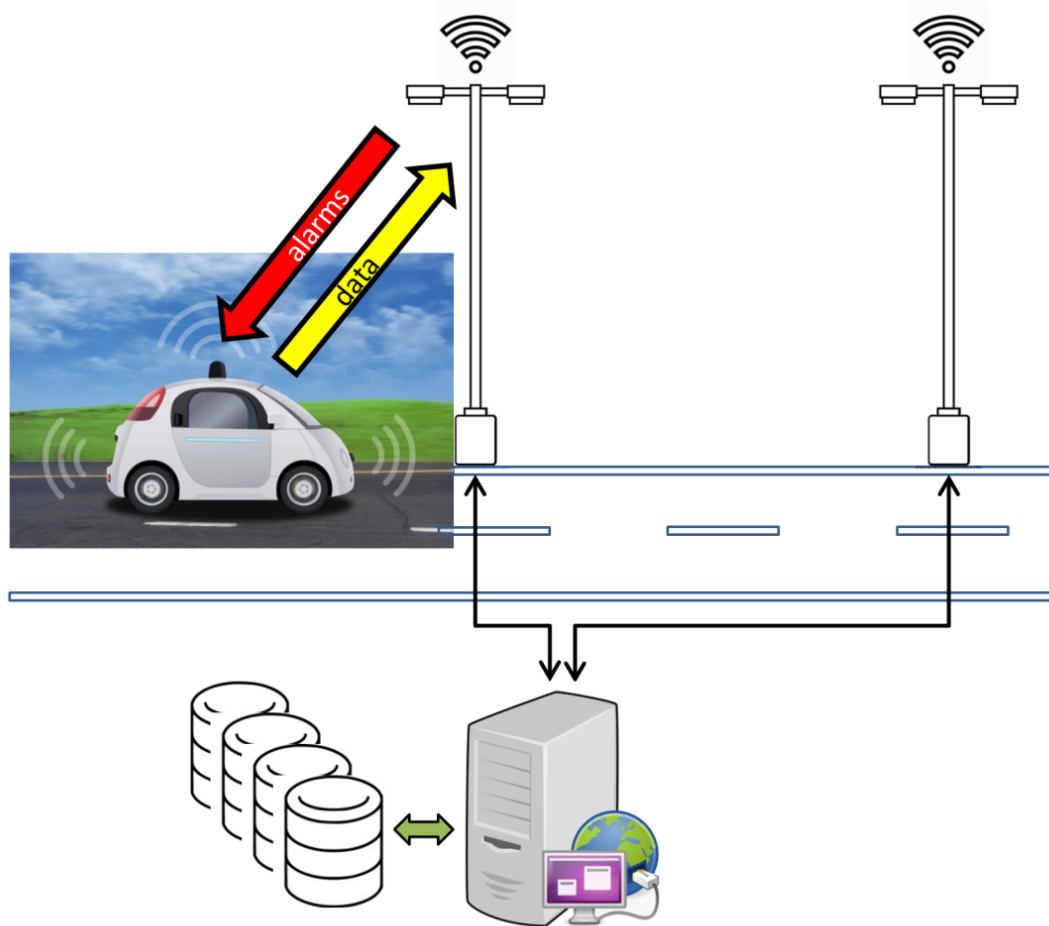


Figura 1. L'architettura complessiva della Smart Road

L'architettura complessiva del sistema Smart Road è mostrata in Figura 1. Il veicolo autonomo sensorizzato comunica, tramite il palo dell'illuminazione pubblica, con il centro di calcolo fornendo dati che sono registrati ed eventualmente elaborati. Nell'altro senso di comunicazione esso riceve eventuali allarmi o comunicazioni di servizio dal centro di calcolo tramite l'infrastruttura.

L'ambito applicativo Smart Road è logicamente diviso in tre filoni di attività afferenti ai tre aspetti fondanti:

- l'infrastruttura intelligente: ovvero l'aspetto fisico delle scelte e delle attività legate alla posa in opera della parte infrastrutturale, comprensiva di sistema di comunicazione;

- il veicolo autonomo: ovvero l'acquisizione, la sensorizzazione e l'automatizzazione di un veicolo elettrico sperimentale;
- l'operatività del sistema: ovvero tutto ciò che attiene allo scambio dati nei due sensi (veicolo -> infrastruttura e viceversa), definizioni di dati e protocolli, funzioni di elaborazione e registrazione dei dati, in stretta collaborazione con CIPCast-ER.

Nel corso delle attività del primo anno l'attenzione è stata posta sugli aspetti di disegno e progettazione del sistema e sulla stesura di requisiti e specifiche.

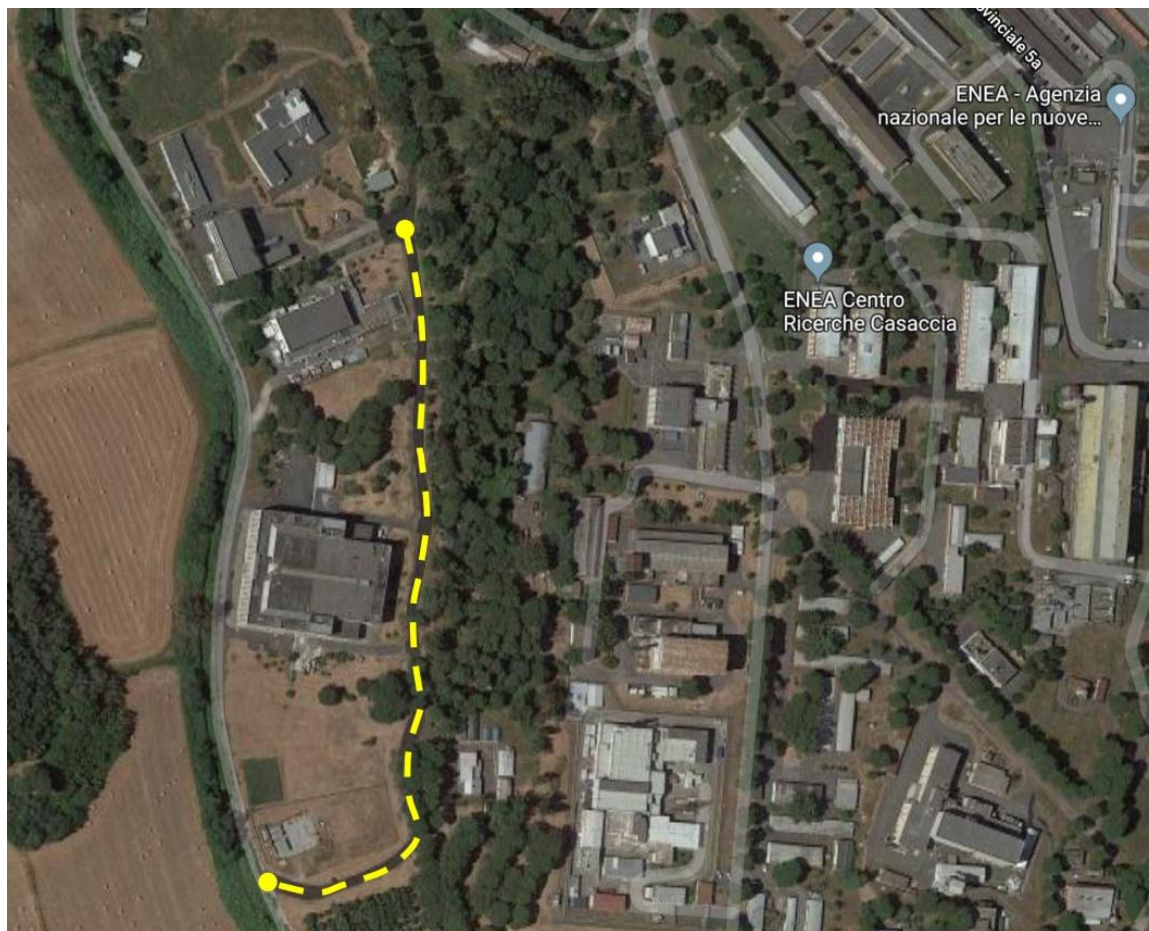


Figura 2. Il sito di test della Smart Road nel Centro Ricerche della Casaccia

Nell'ambito delle attività del primo anno si è anche definito un sito di prova nel Centro Ricerche ENEA di Casaccia (Roma), dove installare l'infrastruttura intelligente. La scelta è caduta su di una strada interna che necessita di una riqualificazione, in particolare per ciò che riguarda l'illuminazione, e che ben si presta ad attività sperimentali in quanto usualmente con scarso traffico veicolare e pedonale. In Figura 2 è mostrata l'area con evidenziata la strada scelta. Essa ha una larghezza di circa 6 metri ed una lunghezza di poco inferiore ai 500 metri.

2.1.1 L'infrastruttura

Consentire la comunicazione e la connessione con i veicoli che la percorrono, è questo l'obiettivo delle Smart Road, le strade intelligenti che sono ormai considerate un elemento fondamentale nella mobilità. Esse sono un tassello imprescindibile nel più ampio progetto della *Smart City* e della *Smart Mobility*. Non a caso il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha emanato il Decreto *Smart Road* (D.M. MIT 28/2/2018) [3], previsto nella Legge di Bilancio 2018, puntualizzando quali sono i nuovi servizi *smart* che riguardano le strade, e dove e quando verranno effettuati.

Gli interventi di questo decreto sono in due fasi temporali: fino al 2025 ci si concentrerà sulle infrastrutture appartenenti alla rete TEN-T (*Trans European Network – Transport*) e sugli oltre 6mila chilometri di rete autostradale italiana; dal 2025 al 2030 i lavori si estenderanno su tutta la rete del Sistema Nazionale Integrato dei Trasporti, attivando servizi di deviazione dei flussi, di intervento sulle velocità medie dei mezzi, di suggerimento di traiettorie e corsie e di gestione dinamica degli accessi. Il provvedimento contiene anche il via libera ai primi test per la guida automatica su strada. Nel dettaglio, si individuano i soggetti che possono presentare domanda d'autorizzazione ai test – dalle case automobilistiche agli enti di ricerca e gli istituti universitari – definendo modalità di istruttoria e controlli.

La prima fase inquadra le Smart Road, come un insieme di infrastrutture stradali che integrano l'innovazione e l'inclusione negli strumenti tradizionali, con l'obiettivo di sostenibilità e migliore qualità del servizio. Si tratta di aggiungere intelligenza alle strade, partendo da sensori, misure e metodi di elaborazione per rendere più estesi, fruibili ed efficienti i sistemi di governo e gestione della circolazione ed i comportamenti di mobilità e di viaggio. Tale intelligenza va costruita da un sistema di acquisizione di informazioni basato su una rete di sensori *road-side* o altre fonti in grado di raccogliere informazioni e scambiarle.

La tecnologia può essere utilmente impiegata in tutte le fasi di vita dell'infrastruttura e dell'esperienza di guida: dai sistemi di infomobilità ai sensori e sistemi di rilievo dello stato delle infrastrutture (ponti, viadotti e gallerie), alle tecnologie di connessione veicolo-infrastruttura in vista della guida automatica. I nuovi strumenti permettono di migliorare l'analisi dei fabbisogni e la valutazione delle opere, rendere più efficaci la pianificazione e la programmazione sia degli interventi di manutenzione che degli investimenti in nuove infrastrutture, garantendo, a costi più bassi, realizzazioni di maggiore qualità, e quindi più durevoli, più sostenibili e più sicure per gli utenti. La tecnologia aumenta, inoltre, la possibilità di definire le politiche di trasporto e la gestione dei flussi di traffico.

Stato dell'arte in Italia

Secondo quanto riportato da CorCom [4], nell'ultimo anno il nostro Paese ha raddoppiato gli sforzi per investire sulle vie connesse. Anas ha firmato la convenzione con Open Fiber per la realizzazione delle infrastrutture di rete in fibra ottica. Il programma Anas prevede una prima fase di posa della fibra ottica (spenta) fino a circa 3.000 km di rete, partita nel 2019. Anas ha investito 140 milioni di euro per una

procedura di accordo quadro relativa alla fornitura e installazione di sistemi tecnologici avanzati per l'infomobilità e la sicurezza lungo circa 2.500 km della sua rete, distribuiti su tutto il territorio nazionale.

Autostrada del Brennero

L'Italia, inoltre, con l'Autostrada del Brennero parteciperà al progetto UE delle "autostrade 5G" per la mobilità connessa e automatizzata: l'iniziativa prevede una prima serie di corridoi di prova su larga scala per lo sviluppo delle tecnologie 5G che consentiranno, tra l'altro, la guida automatizzata di mezzi di trasporto pesanti come i camion.

Smart Road a Trieste

Per l'area triestina è stato lanciato nel luglio 2019 il progetto di Smart Road detto "Corridoio Meduri" in memoria di Giuseppe Meduri della Società Generale d'Informatica (Sogei), uno dei primi ad aver contribuito all'avvio dell'iniziativa. Questo progetto prevede l'installazione di sistemi intelligenti di trasporto lungo il Raccordo Autostradale RA14, quello RA13 e la strada statale 202 "Triestina" [5].

I sensori e le telecamere, connessi a un apposito software, permetteranno di rilevare ingorghi e code, così come di evitare i controlli doganali per i camion già riconosciuti dal sistema. Un modo per velocizzare imbarchi e sbarchi, tagliando i tempi morti e l'errore umano. Una quantità di dati da elaborare in tempo reale notevole, visto che nella zona il traffico pesante è in media di 700 veicoli al giorno.

Smart Road ANAS

Dal Settembre 2018 sono partiti i lavori per trasformare un'autostrada già esistente in una Smart Road; la scelta è ricaduta sull'A2 "Autostrada del Mediterraneo" (ex A3 Salerno - Reggio Calabria) nel tratto tra Morano Calabro (Cosenza) e Lamezia Terme (Catanzaro) per un totale di circa 130 km. Si tratta del primo prototipo di *Smart Mobility* in Europa. A seguire gli interventi si focalizzeranno sulle seguenti infrastrutture:

- A2: Autostrada del Mediterraneo;
- A90: Grande Raccordo Anulare di Roma;
- A91: Autostrada Roma - Aeroporto di Fiumicino;
- E45-E55: tratto Orte – Mestre;
- SS51: Tangenziale di Catania;
- A19: Autostrada Palermo – Catania.

I lavori consistono:

- nell'installazione di una rete interrata in fibra ottica ed energia elettrica;
- nell'installazione di una rete su pali lungo i margini delle carreggiate che permetta la comunicazione tra l'infrastruttura ed i veicoli.

Gli obiettivi di tale opera sono:

- una maggiore sicurezza stradale;
- la possibilità di instaurare una comunicazione tra i veicoli (V2V, *Vehicle to Vehicle*) predisponendosi alla prossima tecnologia 5G. Con la comunicazione V2V i veicoli saranno in grado, ad esempio, di calcolare la distanza che li separa con il veicolo che li segue e con quello che lo precede, permettendogli di calcolare gli spazi di frenata e rispettare le distanze di sicurezza;
- migliore controllo del traffico;
- conoscenza in tempo reale dei flussi di traffico in un determinato tratto autostradale. Il sistema di comunicazione V2I (*Vehicle to Infrastructure*) permetterà la geolocalizzazione dei veicoli, permettendo un intervento tempestivo in caso di rallentamenti, incidenti o disagi causati dal maltempo.

Smart road e UE

Le Smart Road sono il tassello chiave del piano *Cooperative Intelligent Transport Systems* della Ue che ha come obiettivo quello di rendere le strade europee "intelligenti" e permettere la comunicazione tra l'auto e le infrastrutture stesse. Un sistema, questo, che si muoverà grazie all'Internet of Things (IoT) e alle comunicazioni via 5G e in cui tutto è connesso: dal semaforo fino al cartello stradale. I sensori delle vetture permetteranno agli utenti di ricevere quante più informazioni possibili, dagli aggiornamenti sul traffico fino alla velocità di marcia ottimale.

Auto elettriche e Smart Road: la ricarica

Nella previsione di un passaggio dalla tecnologia a motori endotermici di tipo tradizionale che fanno uso di gasolio, benzina o gas a quella elettrica è evidente che il problema della ricarica diventa fondamentale. La pianificazione della ricarica dovrà essere compiuta in funzione della lunghezza della tratta che si va a percorrere, del traffico e del consumo/rendimento del veicolo. La *Smart Road*, permettendo il dialogo tra veicolo ed infrastruttura, potrà decidere quale colonnina libera possa essere utilizzata, tenendo in considerazione anche la zona di ricarica allo scopo di non sovraccaricare la rete elettrica.

Attualmente è in corso l'installazione di punti di ricarica sulle grandi strade a scorrimento veloce ed autostrade ad esempio nelle aree di servizio delle autostrade gestite sul territorio nazionale. Il piano prevede colonnine di ricarica elettrica veloce sulle autostrade A2 ed A19 e in 10 aree di servizio lungo le autostrade A90 e A91. Attualmente, il servizio di ricarica è già disponibile presso l'area di servizio di

Selva Candida Esterna del Grande Raccordo Anulare di Roma. Il servizio di ricarica elettrica sul GRA di Roma e sulla Roma Fiumicino completa un percorso che rientra nell'ambito del "Piano di razionalizzazione della rete delle aree di servizio autostradali".

La tecnologia di ricarica in movimento

Uno degli approcci al problema della ricarica è quello in sperimentazione in Svezia dove si stanno attrezzando tratti di strada per rifornire di energia i veicoli mentre questi sono in movimento.

Già nel maggio 2018 è stata inaugurata eRoadArlanda [6] dove circa 2 km di strada sono stati elettrificati con lo scopo di ricaricare i veicoli, in particolar modo quelli pesanti, mentre percorrono la strada che collega il terminal cargo di Arlanda con il centro logistico di Rosersberg (Figura 3). Qui la tecnologia è a pantografo, ovvero c'è contatto fisico tra una sorta di rotaia nell'asfalto ed un pantografo calato dal pianale del veicolo.

A breve partiranno i test, invece, per il tratto di autostrada che collega l'aeroporto dell'isola di Gotland con la città di Visby, chiamato *Smart Road Gotland* [7]. Questo sarà un tratto di 1,6 chilometri della strada che unisce l'aeroporto dell'isola con la città di Visby, lungo in tutto 4 chilometri. In questo caso la ricarica avverrà in modo contactless, infatti è stata progettata grazie alla tecnologia sviluppata dall'azienda israeliana Electron Wireless: un sistema di piastre a induzione presenti nell'asfalto delle corsie e messe una accanto all'altra, fino a ricoprire tutta la distanza prevista. L'intero impianto è collegato a una centrale di controllo, in modo che venga tenuta monitorata l'energia impiegata e quella necessaria. Il target di utilizzo primario è quello di pullman e veicoli pesanti.



Figura 3. La posa in opera della rotaia elettrica nel sito di eRoadArlanda

L'infrastruttura intelligente della Smart Road

Il progetto per la realizzazione di una Smart Road nel Centro di Ricerche ENEA della Casaccia permetterà la creazione di una infrastruttura di test che adiuverà la realizzazione di soluzioni tecniche ed architetture per affrontare la sfida della futura mobilità elettrica sia autonoma che non.

Dal punto di vista energetico, il colloquio tra veicoli ed infrastruttura intelligente permetterà al sistema nel suo complesso di poter indirizzare i veicoli verso le stazioni di ricarica più opportune in modo da poter ottenere nel complesso tre vantaggi: una ricarica efficace del singolo veicolo in luoghi non lontani dalla destinazione finale del veicolo; la possibilità di utilizzare l'eventuale carica residua parziale di veicoli nella configurazione V2G (*Vehicle to Grid*) ovvero come una sorta di scorta di potenza elettrica in aiuto al sistema di distribuzione; la diminuzione dello stress sul sistema di distribuzione elettrica potendo agire sullo smistamento dei veicoli nell'insieme dei punti di ricarica in modo più razionale.

Per ciò che attiene alla soluzione tecnica, la *Smart Road* verrà implementata tramite l'utilizzo del sistema di illuminazione pubblica stradale, ovvero si useranno i pali che sostengono i corpi illuminanti per ospitare anche sistemi telematici per la gestione della luce e della trasmissione da e per i veicoli.

Ogni palo sarà dotato di due reti di comunicazione logicamente distinte:

- la rete di attuazione dell'illuminazione (servizio): ovvero quanto necessario alla regolazione dell'intensità dell'illuminazione a terra;

- la rete dati della Smart Road (applicazione): ovvero tutti i dati che viaggiano da e per i veicoli nella strada ed eventuali altri dati provenienti da sensoristica installata sul palo. In particolare si fa riferimento all'eventuale installazione di telecamere per il controllo dei flussi di traffico, il meteo o il livello di illuminazione esterna.

Queste due reti potranno utilizzare o meno lo stesso mezzo fisico.

Ogni palo sarà dotato di corpo illuminante a LED con illuminazione di tipo adattativo con regolazione FAI (*Full Adaptive Implementation*). Le comunicazioni tra unità di gestione e nodo lampione saranno del tipo *wireless*, oppure ove possibile, con una tecnologia PLC (*Power Line Communication*).

Per la comunicazione tra l'infrastruttura ed i veicoli (V2I) e quella eventuale tra i veicoli (V2V) si installerà una rete mesh WiFi a routing veloce, dedicata alla *Smart Road* ma comunque collegata all'infrastruttura di rete del C.R. Casaccia, per permettere il colloquio con CIPCast-ER.

Il sito di test individuato nel C.R. Casaccia (Figura 2) di circa 500 metri di lunghezza, sarà attrezzato con 25 pali, uno ogni circa 20 metri. La strada è intersecata da 5 incroci, di cui 3 all'interno del percorso ed i rimanenti due all'inizio e al termine di essa.

2.1.2 Il veicolo autonomo

Come già detto la Smart Road è una infrastruttura intelligente che dialoga con i veicoli elettrici che la percorrono. Quindi oltre ad attrezzare un sito di prova con la parte infrastrutturale, durante il primo anno di attività ci si è concentrati sul disegno dei requisiti e delle specifiche del veicolo autonomo elettrico che è parte integrante del sistema Smart Road in quanto ne dimostra praticamente l'uso ed i vantaggi.

Con il termine autonomia (dal greco antico *αὐτονομία; αὐτόνομος, autònomos*, parola composta da *αὐτο-*, auto – e *νόμος, nomos*, "legge", ovvero "legge propria") si intende la possibilità per un soggetto di svolgere le proprie funzioni senza ingerenze o condizionamenti da parte di altri [8]. Nel caso di un veicolo, per autonomia si intende la capacità di effettuare un compito (la guida) senza essere supervisionato e potendo operare in proprio delle scelte.

In Figura 4 sono mostrati i cinque livelli di autonomia per un veicolo come individuati dalla SAE (*Society of Automotive Engineers*) [9]:

- livello 0: nessuna automazione, il guidatore ha il pieno controllo;
- livello 1: sono introdotti alcuni ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) come il *cruise control* o il monitoraggio del cosiddetto *blind spot*;
- livello 2: il guidatore è ancora necessario, ma, ad esempio, il veicolo è in grado di sterzare (contro il superamento di carreggiata) e/o controllare la velocità (*cruise control* adattativo);
- livello 3: la guida del veicolo diventa automatica, ma il guidatore deve rimanere attento e pronto a riprendere il controllo entro un breve lasso di tempo se richiesto;

- livello 4: l'autonomia è completa, ma il sistema è in grado di essere autonomo solo in certi ambienti e/o certe condizioni;
- livello 5: l'autonomia è completa in tutte le condizioni in cui un guidatore umano si possa trovare.

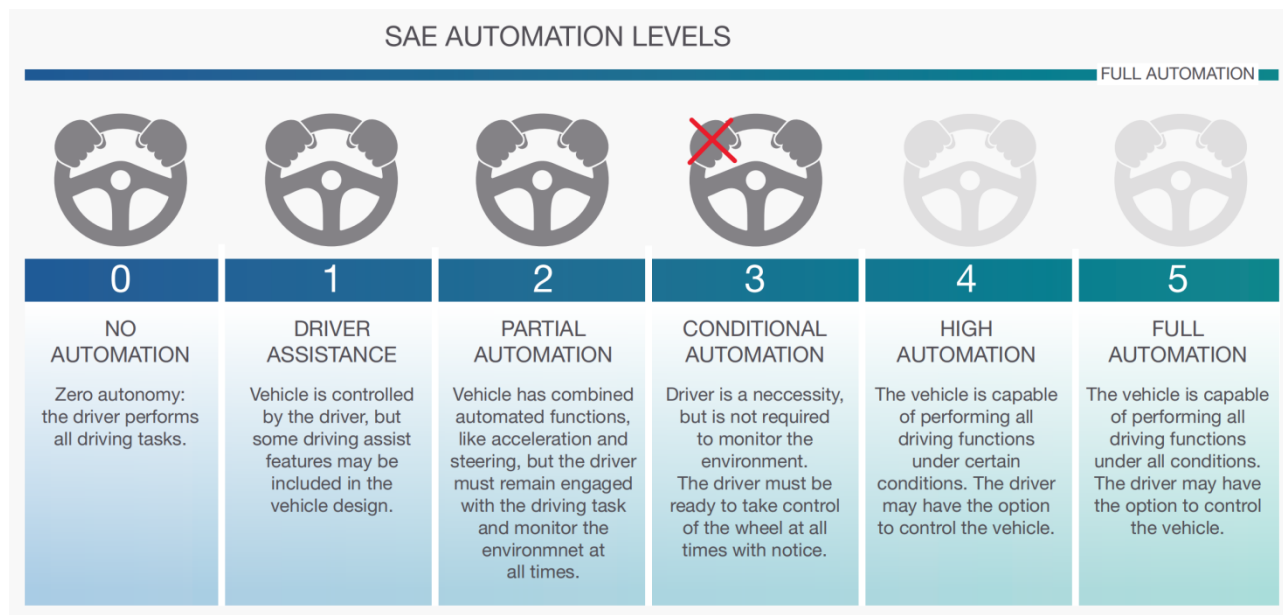


Figura 4. I cinque livelli di automazione per un veicolo riconosciuti dalla SAE (Society of Automotive Engineers)

Lo scopo delle attività dell'ambito applicativo Smart Road è quello di dimostrare la validità di un approccio sistemico alla gestione di strade intelligenti all'interno di una *Smart City*, che apporti vantaggi sia per ciò che riguarda la sicurezza che per gli aspetti energetici. Dunque qui il veicolo autonomo è uno degli attori dello scenario, ma non è l'obiettivo primario. In aggiunta va sottolineato come tutte le grandi case automobilistiche stiano studiando, implementando e, in molti casi, anche già commercializzando soluzioni elettriche a diversi gradi di autonomia. È evidente come non sia possibile né opportuno pensare ad una qualche competizione in questo ambito estremamente complesso e già molto ben presidiato. Nell'intento delle attività del presente Work Package, invece, il veicolo è inteso come laboratorio dove sperimentare soluzioni sensoriali utili alla Smart Road e, conseguentemente allo *Smart District* o, comunque, alla gestione e pianificazione della *Smart City*. L'accento è posto sull'interazione tra il veicolo e la gestione della città attraverso una infrastruttura intelligente diffusa che permetta questo dialogo.

Le caratteristiche ed i requisiti del veicolo sono stati pensati con il fine di poterlo rendere autonomo, ovvero guidato da uno o più programmi software. Lo sviluppo e l'implementazione di tali programmi

sarà condotta nel corso della seconda e terza annualità dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia.

Il livello di autonomia individuato è, nella scala del SAE (Figura 4), il terzo/quarto: il veicolo sarà in grado di percorrere il sito di prova della Smart Road in autonomia (quarto livello) al termine del progetto, ma mantenendo sempre la possibilità di intervenire anche a distanza per fermare l'auto (terzo livello) in caso di pericolo.

Requisiti e specifiche del veicolo

Vista la natura sperimentale della Smart Road e del veicolo ad essa collegato, la scelta si è indirizzata verso un veicolo totalmente sperimentale, in particolare un quadriciclo, che fosse *open* cioè che permettesse il completo controllo dei sistemi di bordo. Ciò non è usualmente possibile utilizzando un veicolo elettrico commerciale quali quelli già presenti sul mercato (es. Renault Twizy, Zoe, etc.). Esistono aziende che si dedicano alla customizzazione di questo genere di veicolo per il mercato della ricerca, proponendo soluzioni abbastanza open, ma generalmente a controvalori economici decisamente fuori bersaglio. Ad esempio la britannica Streetdrone [10], che propone una Twizy accessoriata con computer, telecamere e *drive-by-wire* pronta per essere governata da computer, ma, ovviamente priva di algoritmi per la guida.

La scelta di un veicolo commerciale già autonomo, quale la Tesla o la Google Car, è stata immediatamente scartata sia per il costo che per la natura non open dei prodotti commerciali.

Il quadriciclo scelto sarà un veicolo completamente elettrico con quattro motori, uno per ruota, con telaio di concezione automobilistica; sarà dotato di ciclistica con ruote sterzanti anteriori e sospensioni sulle quattro ruote. Il sistema di accumulo sarà composto da batterie realizzate con celle agli ioni di Litio che permetta un'autonomia di almeno 50 km, con un sistema di *battery management* adeguato alla sua gestione ottimale.

Il veicolo dovrà essere gestito in *drive-by-wire*, ovvero direttamente tramite computer, negli aspetti di accelerazione, frenata, sterzo, cambio, luci ed indicatori di direzione. Esso sarà altresì dotato di autopilota con accelerometri e GPS.

A bordo del veicolo saranno presenti fino a cinque telecamere di tipo GigE, cioè connesse tramite Ethernet ad alta velocità, per la ripresa di immagini con cui analizzare l'ambiente sia per la guida che per altre funzioni quali ad esempio la lettura di cartelli stradali o l'analisi del manto stradale. Potrà essere equipaggiato anche con un Lidar (*Laser Imaging Detection and Ranging*), uno strumento che permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser.

La potenza di calcolo necessaria all'elaborazione dei dati del veicolo e dell'ambiente sarà fornita da un PC pensato per applicazioni automotive e quindi a basso consumo e senza ventole meccaniche, provvisto di ingressi GigE per le telecamere, una RAM adeguata e una scheda video di ultima generazione dove possano utilmente girare algoritmi di Intelligenza Artificiale quali le DNN.

Tutti i sensori e i device aggiuntivi saranno opportunamente cablati ed alimentati ed assicurati al telaio del veicolo.

Dal punto di vista software, il veicolo sarà interfacciato tramite uno o più moduli ROS (*Robot Operating Software*) un middleware diventato standard di fatto nella comunità della ricerca robotica. Con essi sarà possibile comandare il veicolo ed avere accesso ai suoi dati.

La comunicazione con l'esterno sarà garantita da due sistemi wireless: uno basato su di una coppia di schede Ubiquity Rocket su banda 5Ghz, per la telemetria diretta e il monitoraggio del veicolo ed una seconda, basata su WiFi, per il traffico dati con la Smart Road.

Requisiti e specifiche della sensoristica di bordo (dialogante)

Nell'architettura della Smart Road adottata e qui presentata, il veicolo elettrico autonomo rappresenta un terminale mobile in grado di raccogliere dati nell'ambiente in cui opera. Questa visione della Smart Road è un'aggiunta rispetto a visioni quale quella in [1], dove l'auto e l'utente a bordo utilizzano l'infrastruttura come un fornitore di servizi e le forniscono i dati eventualmente necessari. Tipico esempio l'utente può fruire del WiFi per la navigazione in rete o per ricevere informazioni pertinenti alla guida dall'ente gestore dell'infrastruttura. L'aspetto di monitoraggio della strada e dell'infrastruttura in [1] viene considerata appannaggio dell'infrastruttura stessa, con sensoristica installata nei pali a bordo strada. Nella visione qui descritta, invece, ogni veicolo può fornire propri dati raccolti dai sensori di bordo e/o provenienti dai sistemi interni all'auto stessa.

A bordo del veicolo saranno installati alcuni sistemi che forniranno dati sull'ambiente circostante e sul veicolo stesso. Al momento i sistemi previsti sono i seguenti:

- centralina dati inquinanti chimici;
- analisi manto stradale;
- telemetria veicolo;

questo elenco potrà subire variazioni in funzione dei risultati ottenuti e degli sviluppi della ricerca nel corso delle successive annualità.

Centralina inquinanti chimici

Nel corso del precedente triennio di Ricerca di Sistema Elettrico, più precisamente durante il Piano Annuale di Realizzazione 2016 (Report RdS/PAR2016/021), è stata acquisita una centralina per l'analisi di inquinanti chimici [11]. Tale centralina è stata realizzata con il fine di essere montata a bordo di un drone, pertanto ha ingombro e peso molto contenuti; ciò la rende un'ottima candidata al montaggio a bordo del veicolo elettrico.

La qualità dell'aria dipende fortemente dagli spostamenti e dalle attività energetiche dell'uomo e la misura degli inquinanti atmosferici è una informazione di estrema rilevanza per una Smart City. Allo stesso tempo anche informazioni quali la temperatura o l'umidità atmosferiche sono rilevanti anche per le attività messe in opera nello Smart Cool Place.

Il payload ambientale realizzato nel PAR 2016 è progettato per la rilevazione di SO₂, CO, NO_x, VOC (*Volatile Organic Compounds*, composti organici volatili), O₃ e particolato fino a PM2.5 e di alcuni parametri fisici atmosferici quali la temperatura. Questi inquinanti sono quelli usualmente utilizzati per misurare la qualità dell'aria; in Tabella 2 sono riportate alcune caratteristiche dei sensori che equipaggiano la centralina.

In Figura 5 è mostrata la centralina assemblata: è possibile vedere i sensori sensibili alle singole specie chimiche (i cilindri nel centro dell'immagine), il sensore di particolato (la scatola nera sulla sinistra) e sopra ai sensori chimici la scheda di controllo e gestione basata sul single-board computer Raspberry-Pi [12].

La Raspberry-Pi si occupa della gestione e della interrogazione dei sensori e fornisce i dati all'utente tramite una connessione internet WiFi, implementando un webserver http, interrogabile da remoto.

La centralina, montata sul veicolo, fornirà all'infrastruttura intelligente i dati di concentrazione chimica ed atmosferici georeferenziati con una data frequenza, che verrà determinata sperimentalmente in modo da essere sufficiente alle applicazioni lato server (CIPCast-ER) e di lasciare sufficiente banda alle altre comunicazioni veicolo – infrastruttura. Si pensa ad una frequenza dell'ordine di una volta ogni qualche minuto.

Tabella 2. Sensori chimico fisici per la qualità dell'aria

Sostanza misurata	Tecnologia	Campo
Monossido di Carbonio (CO)	Elettrochimica	0-500,0-1000,0-2000, 0-10000 ppm
Diossido di Zolfo (SO ₂)	Elettrochimica	0-20 ppm
Composti organici volatili (VOC)	Semiconduttore	ppm
Ozono (O ₃)	Elettrochimico	0-20 ppm
Ossidi di Azoto (NO _x)	Elettrochimico	0-250 ppm
Diossido di Azoto (NO ₂)	Elettrochimico	0-20, 0-30 ppm
Particolato	Ottico	0.38-17 µm

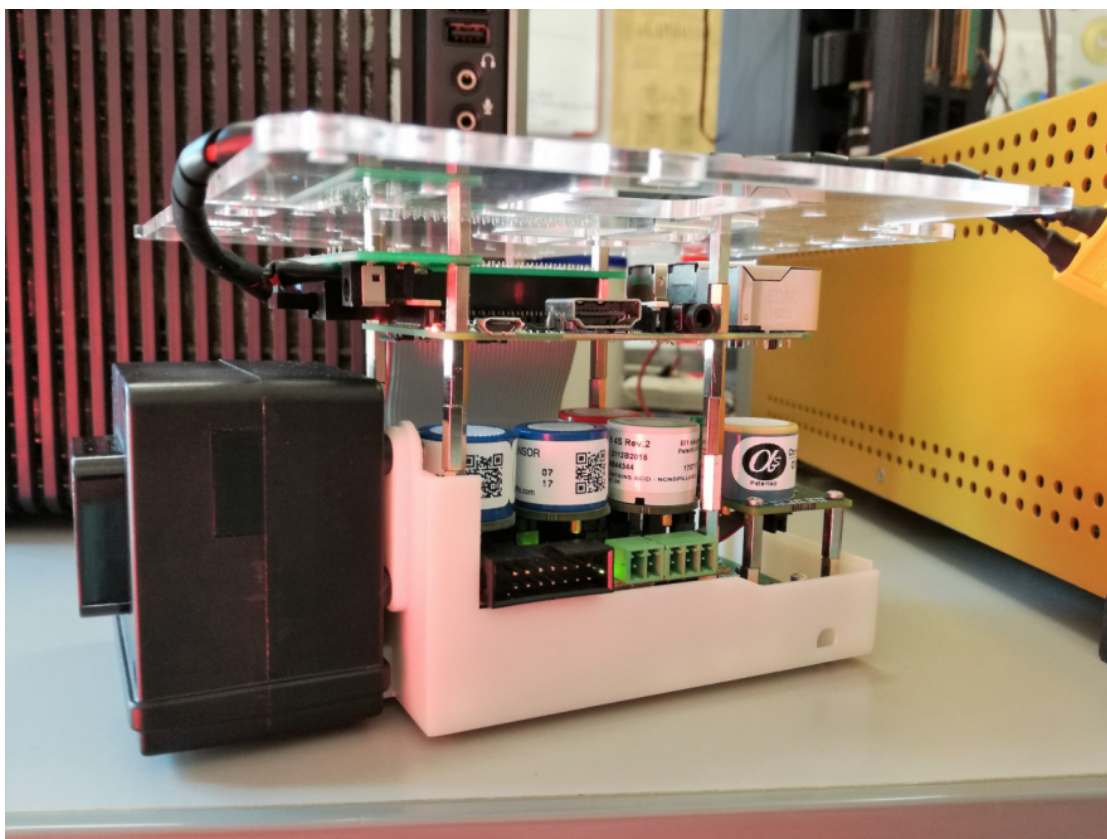


Figura 5. Il payload chimico: i cilindri sono i sensori chimici, la scatola nera è per il particolato e, sopra i sensori, la scheda di controllo (Raspberry Pi)

Analisi del manto stradale

La qualità delle strade è un aspetto estremamente importante per la sicurezza stradale e per la qualità della vita del cittadino [13], a tale scopo il veicolo sarà equipaggiato con un sensore in grado di compiere un'analisi in tempo reale dello stato superficiale del manto stradale. Il sensore sarà sviluppato nell'ambito del progetto e utilizzerà l'elaborazione di immagini riprese da una telecamera di bordo per poter individuare e classificare eventuali difetti superficiali del manto stradale. L'approccio computazionale sarà quello delle *Deep Neural Networks* (DNN, Reti Neurali Profonde) ovvero di quelle architetture di Intelligenza Artificiale che si basano sull'addestramento supervisionato di reti neurali con moltissimi strati nascosti [14]. Anche in questo caso l'eventuale presenza di un difetto stradale (ad esempio, una buca o un tombino) verrà segnalata alla Smart Road in modo georeferenziato per ulteriori elaborazioni. Verrà anche studiata la possibilità di usare un simile sistema per il rilevamento di condizioni di strada umida o presenza di pozzanghere. La trasmissione del dato alla Smart Road potrà anche contenere, oltre alla classe del difetto stradale e la sua localizzazione, l'immagine che ha provocato l'allarme.

Come soluzione alternativa potrà essere sperimentato l'uso dell'accelerometro di un telefono cellulare quale sensore per difetti stradali di una certa intensità.

Telemetria veicolo

Il veicolo stesso è un'abbondante fonte di dati. Per fissare le idee si considerino: la posizione, la velocità e la direzione, il tempo di viaggio, la distanza percorsa, la destinazione finale (eventualmente con la traiettoria del navigatore), lo stato di carica della batteria e l'autonomia residua. Tutti questi dati possono essere importanti per alcune funzionalità della Smart Road.

Si consideri la posizione, essa è utile per graficizzare le condizioni di traffico nella rete stradale urbana oppure per attivare servizi legati, ad esempio, a situazioni di pericolo come guasti o incidenti. Il tempo di viaggio, la distanza o la destinazione finale possono essere utili a raccogliere statistiche di traffico utili alla modellazione della domanda di mobilità generale. I parametri più strettamente energetici insieme alla destinazione del viaggio possono essere utilmente sfruttati per poter gestire geograficamente la ricarica dei veicoli elettrici e la loro potenza residua. Con questi dati è possibile indirizzare un veicolo verso una data colonnina di ricarica perché libera e presso la destinazione finale; è altresì possibile instradare auto con ancora sufficiente carica verso colonnine libere per poter erogare localmente parte della loro carica ed aiutare così la distribuzione di energia se in difficoltà.

Tutti i dati di telemetria saranno trasmessi alla Smart Road con la frequenza più opportuna a valle delle necessarie considerazioni sulle capacità di banda del sistema di trasmissione scelto.

Requisiti e specifiche del sistema di comunicazione

Tra i requisiti del veicolo è basilare quello di comunicazione, se si vuole parlare di Smart Road. Il veicolo, infatti, deve poter comunicare con la Smart City attraverso l'infrastruttura intelligente.

Va qui sottolineato un aspetto importante del problema, le comunicazioni via radio sono un campo in continua, travolgente, evoluzione, nel giro di pochi anni si sono raddoppiate le capacità di trasmissione dati numerose volte e questa tendenza non sembra ancora arrivata a saturazione, si pensi alla rivoluzione prossima ventura del cosiddetto 5G. Nel caso del presente progetto il focus è posto sulla dimostrazione sperimentale di soluzioni ed applicazioni al traffico veicolare e alla città nel suo insieme che sfruttino la comunicazione radio tra veicoli ed infrastruttura. Quale sia l'effettiva soluzione tecnologica per questa comunicazione è relativamente secondario. Naturalmente il canale deve permettere il passaggio di una notevole quantità di dati, ma quale sia il protocollo o la frequenza della portante non è qui basilare, è invece importante mostrare come lo scambio di dati tra veicolo e infrastruttura e la loro elaborazione possa portare benefici alla Smart City e ai suoi abitanti. A corollario di ciò, una volta disegnati ed implementati gli algoritmi, l'uso di questo o quel canale di comunicazione comporta una banale riscrittura di alcune righe di software.

Ciò premesso per il veicolo e l'infrastruttura si è pensato all'utilizzo di un link di tipo WiFi con capacità di fast routing, ovvero il link WiFi dovrà essere in grado di saltare il più rapidamente possibile da

un'antenna ad un'altra mentre il veicolo è in movimento nella Smart Road, questo anche sulla base di quanto prefigurato dall'ANAS in [1].

Quindi la connessione dati tra il veicolo e la Smart City si baserà su una classica connessione Internet su protocollo TCP/IP (*Transmission Control Protocol /Internet Protocol*).

2.1.3 Operatività del sistema

Una volta definiti l'infrastruttura ed il veicolo, viene qui descritto come i due attori interagiscano tra loro e, soprattutto, con altre piattaforma di supporto decisionali tipiche di un approccio Smart City. L'interazione, in questo senso, avviene tramite le capacità elaborative e di archiviazione del sistema CIPCast-ER, descritto più dettagliatamente nel Paragrafo 2.2.

Come già ampiamente descritto, l'operatività del sistema è rappresentata da due flussi dati (V2SR e SR2V, *Vehicle to Smart Road* e viceversa), da un'eventuale elaborazione a livello centrale o locale e dall'archiviazione nelle banche dati per analisi di tipo GIS o altre.

Questa parte delle attività può dunque essere utilmente suddivisa in due filoni:

- lo scambio dati tra veicolo, infrastruttura e CIPCast-ER: architettura e tipi di dati;
- le funzioni di elaborazione ed archiviazioni di dati con eventuale invio al veicolo di allarmi e di indirizzamento verso la ricarica.

Lo scambio dati tra veicolo e infrastruttura

Il veicolo è un produttore di dati tramite i sensori montati a bordo. Si può distinguerli in due classi: i dati *propriocettivi* e quelli *esterocettivi*; i primi sono quelli che il veicolo raccoglie sul proprio stato (es. posizione, velocità, stato di carica, etc.), i secondi sono quelli che misura nell'ambiente in cui si trova (es. stato del manto stradale). Entrambe le classi vanno comunque inviate a CIPCast-ER per ulteriori elaborazioni.

Questi dati possono essere fatti ricadere in diverse categorie:

- dati chimici: un timestamp, una posizione geolocalizzata, una serie di triplete specie – concentrazione – unità di misura;
- dati del manto stradale: un timestamp, una posizione geolocalizzata, una stringa contenente la classe del difetto riconosciuto, una immagine (jpeg, massimo 512x512 pixel);
- dati di localizzazione: un timestamp, una posizione geolocalizzata, direzione, velocità, distanza percorsa dall'ultima partenza;
- dati di percorso: un timestamp, un percorso origine destinazione generato dal navigatore del veicolo, ETA (Estimated Time of Arrival);
- dati elettrici: un timestamp, stato di carica della batteria, consumo, autonomia residua;

- dati di allarme: un timestamp, una posizione geolocalizzata e un codice di allarme o guasto (es. avaria batteria)
- altri dati: eventuali ulteriori dati che si rendano necessari per ulteriori applicazioni nell'ambito della Smart Road.

Così come detto per ciò che riguarda le comunicazioni, è evidente come l'aspetto pervasivo in qualunque applicazione tecnologica sia la rapida evoluzione. Sarà quindi importante garantire, per quanto possibile, una flessibilità nell'architettura dati in modo da garantirsi la facilità di ampliamento dei dati considerati.

Data l'eterogeneità degli stessi si è deciso di adottare un formato di scambio basato su JSON (*JavaScript Object Notation*) [15]. JSON è un formato basato su coppie etichetta-valore, scritte in ASCII, ovvero con caratteri alfanumerici; è un formato facilmente leggibile dal programmatore, con evidenti vantaggi nella fase di debug, ed esistono librerie in tutti i linguaggi moderni per un facile ed efficiente parsing dei dati.

Funzioni di elaborazione e storage di dati ed invio al veicolo di allarmi e di indirizzamento verso la ricarica

Come precedentemente descritto, la Smart Road è un sistema che permette il dialogo tra la Smart City ed i veicoli in essa circolanti, questo dialogo avviene in una direzione con l'invio di dati raccolti dalle auto verso la città e nell'altro con l'eventuale invio di messaggistica di allerta o di altri servizi informativi. Tutti questi dati saranno gestiti da un sistema di elaborazione e registrazione centrale: CIPCast-ER.

Per i dettagli delle elaborazioni e dei dati coinvolti si rimanda al Paragrafo 2.2, dove sono descritte le caratteristiche di questo sistema. Qui di seguito, invece, sono brevemente richiamate le funzionalità rilevanti per il dialogo con un veicolo attraverso la Smart Road. CIPCast-ER con l'elaborazione di dati propri o provenienti dal veicolo sarà in grado di:

- individuare una colonnina di ricarica vicino alla destinazione finale del veicolo, sulla base dello stato di carica della batteria e del percorso di viaggio;
- indirizzare i veicoli con sufficiente carica nella batteria in modalità V2G (*Vehicle to Grid*) presso una colonnina vicina alla destinazione finale per poterne sfruttare la carica residua per aiutare localmente l'erogazione di corrente;
- visualizzare il veicolo in tempo reale su una mappa;
- gestire gli eventuali allarmi provenienti dal veicolo, ad esempio guasti meccanici con invio carro attrezzi, malori delle persone trasportate, incidenti, etc.;
- gestire i dati sullo stato del manto stradale, eventualmente creando una mappa del rischio ed inviare eventuali *alert* ai veicoli in transito;

- inviare eventuali allarmi per eventi straordinari (ad esempio, di tipo meteorologico o relativi ad allagamenti, frane, etc.);
- inviare eventuali allarmi per eventi legati al traffico (congestionamenti, veicolo contromano, incidenti);
- occuparsi del controllo del percorso di viaggio del veicolo (dato fornito dal veicolo): se presente una zona impraticabile per evento straordinario, invierà al veicolo un *alert* per il ricalcolo del percorso;
- realizzare l'attuazione dell'illuminazione stradale in funzione della posizione del veicolo.

Parallelamente a queste attività di elaborazione, CIPCast-ER registrerà i dati georeferenziati provenienti dal veicolo per eventuali ulteriori elaborazioni off line, come ad esempio:

- potrà compiere elaborazioni statistiche e grafiche dei dati dal veicolo (es. campi di temperatura/inquinamento per Smart Cool Place).

2.2 CIPCast-ER

Nel corso delle attività del precedente triennio di Ricerca di Sistema Elettrico (PAR 2015-2017 e PAR 2018, Report RdS/PAR2015/016, RdS/PAR2016/020, RdS/PAR2017/061, RdS/PAR2018/030), il Laboratorio “Analisi e Protezione delle Infrastrutture Critiche” (APIC) dell’ENEA, ha portato avanti lo sviluppo e l’implementazione del Sistema di Supporto alle Decisioni (*Decision Support System*, DSS) di tipo *GIS-based*, denominato **CIPCast** [16], con finalità operative e di simulazione, concepito come piattaforma per la sicurezza delle infrastrutture critiche (IC), con particolare riguardo al sistema elettrico ed alle sue vulnerabilità [17].

In sintesi, CIPCast consente di valutare il rischio e la possibilità di danni su elementi specifici delle IC, a causa di eventi naturali estremi prevedibili (quali precipitazioni intense, esondazioni [19]) o dalla simulazione di altri non prevedibili (e.g. terremoti [18]). Esso, quindi, fornisce una stima (“scenari”) di quali potrebbero essere i danni alle IC tendendo presenti le specifiche vulnerabilità degli elementi oggetto di monitoraggio. Tali scenari possono essere rappresentati sia sotto forma di mappe degli elementi delle IC di cui si prevedono guasti o riduzioni del funzionamento in conseguenza degli eventi naturali, visualizzati attraverso l’interfaccia geografica di CIPCast (un’applicazione WebGIS) e, quindi, condivisi con gli utenti finali (operatori/gestori delle IC, autorità di Protezione Civile, etc.).

È ormai ampiamente consolidato il fatto che gli approcci basati su tecnologie e metodologie GIS svolgono un ruolo fondamentale, sia nella valutazione della vulnerabilità, sia nel supportare i processi decisionali nel loro complesso, nell’ambito delle analisi relative a rischio, impatto e conseguenze. Negli ultimi anni, infatti, la comunità geo-scientifica si è focalizzata sempre più approfonditamente sui risvolti applicativi legati all’uso di tecnologie GIS-based per gli scopi suddetti [20, 21, 22]: la necessità di standard e interfacce spaziali efficaci, strumenti di analisi spaziale, piattaforme hardware/software integrate (*Spatial Data Infrastructure*, SDI, o Infrastruttura di Dati Territoriali) ha rivestito pertanto un ruolo fondamentale nello sviluppo di siffatte attività. Sulla base di tali presupposti tecnico-scientifici, la Piattaforma CIPCast è stata concepita come una combinazione di ambienti software free/open source [23], incluse le funzionalità GIS, per l’analisi e la previsione del rischio per le strutture e le infrastrutture in relazione a diversi tipi di eventi naturali estremi (terremoti, precipitazioni, intense, alluvioni, etc.).

CIPCast fornisce anche un supporto alla valutazione della propagazione dei guasti: questo è un aspetto particolarmente complesso, a causa del forte livello di dipendenza e interdipendenza delle infrastrutture: ad esempio, un guasto o un disservizio sulla rete elettrica, oltre che avere un effetto sul suo funzionamento, ha in genere conseguenze (anche importanti) su altri sistemi coi quali esiste un legame funzionale. La Piattaforma, pertanto, consente di dare una risposta al problema della gestione di infrastrutture distinte (gestite, oltretutto, da operatori diversi) attraverso una sorta di “Cabina di Regia” [24] in grado di fornire informazioni condivise e un utile supporto agli operatori per il monitoraggio ordinario ed, eventualmente, la prevenzione e il management delle crisi. Per una descrizione dettagliata delle caratteristiche generali e delle funzionalità di CIPCast, in ogni caso, si rimanda ai summenzionati Report.

Per quanto riguarda, invece, le attività previste nel corso di questa nuova annualità del Piano Triennale 2019-2021, partendo dai sopracitati risultati, ci si è posti l'obiettivo di definire e implementare una serie di nuovi e specifici moduli applicativi all'interno dell'esistente Piattaforma CIPCast: essi sono finalizzati al monitoraggio e all'allertamento per fenomeni naturali estremi (e.g. inondazioni e terremoti) al fine di consentire un'analisi del rischio delle infrastrutture urbane, con particolare riguardo al sistema elettrico e quello stradale, nonché alle loro dipendenze e interdipendenze. Tale evoluzione della Piattaforma, è stata denominata **CIPCast-ER** (*Electricity & Roads*) ed è stata concepita per permettere un'efficace valutazione degli impatti sulle infrastrutture di interesse in caso dei sopraindicati eventi, nonché per una efficace integrazione con altri ambiti applicativi relativi ai servizi urbani in termini di sicurezza e qualità (Smart Roads e Smart Cool Place).

2.2.1 L'applicazione CIPCast-ER

CIPCast-ER (Electricity & Roads) permette di effettuare una analisi del rischio delle infrastrutture urbane, con particolare riguardo al sistema elettrico e quello stradale, nonché alle loro dipendenze in caso di inondazioni e terremoti. Nel corso della presente annualità è stato definito lo schema di analisi dei requisiti e dei casi d'uso, è stata avviata la progettazione e sviluppo del modello dati (Data Model) e definita l'architettura software.

Come detto in precedenza, CIPCast-ER rappresenta una evoluzione della Piattaforma DSS CIPCast, che permetteva un'efficace valutazione degli impatti sulle suddette infrastrutture in caso di eventi di inondazioni e terremoti ma che non integrava alcuna modellazione delle dipendenze tra il sistema elettrico e quello stradale.

Il sistema, in questo specifico contesto applicativo, lavora in modalità real-time secondo un workflow costituito dai seguenti blocchi funzionali:

- B1. **Acquisizione dati e allarmi da veicoli e pali intelligenti:** il sistema acquisisce dati chimici, posizione, stato del manto stradale, percorso, dati elettrici e di allarme dei veicoli e riprese video e dati dei sensori dai pali intelligenti.
- B2. **Previsione e acquisizione di eventi naturali (e.g. meteorologici, sismici) ed eccezionali (e.g. traffico):** il sistema stima l'area geografica dove specifici eventi real-time si manifestano (i.e., traffico stradale, eventi sismici) oppure potrebbero manifestarsi (i.e., inondazioni).
- B3. **Generazione di allarmi:** il sistema correla l'area interessata da un certo evento (e.g. di tipo meteorologico, sismico, di manto stradale sconnesso) con il percorso dei veicoli e genera un allarme per tutti i veicoli che transitano in quell'area.
- B4. **Predizione di impatto sui servizi erogati dalle infrastrutture o da punti di interesse:** il sistema elabora una misura della possibile degradazione di servizi forniti alle infrastrutture critiche (e.g. black-out) e dei punti di interesse di quell'area.

B5. Definizione di strategie intelligenti: Supporto ai veicoli per la ricerca di colonnine di ricarica, gestione delle emergenze dei veicoli con invio di mezzi di soccorso, pilotaggio dell'illuminazione dei pali intelligenti e supporto alla rete elettrica da parte dei veicoli tramite modalità V2G:

In sintesi, seguendo il flusso di lavoro sopra descritto, il sistema:

- Rileva dati e allarmi rilevati dai veicoli e dai pali (**Blocco B1**);
- Definisce una o più aree geografiche impattate da possibili eventi (**Blocco B2**);
- Genera e invia un insieme di allarmi che invia ai veicoli/pali (**Blocco B3**);
- Elabora uno scenario di rischio di perdita di servizio erogato da infrastrutture e/o punti di interesse (**Blocco B4**);
- Fornisce supporto ai veicoli che transitano o che devono dirigersi in prossimità delle aree impattate (**Blocco B5**).

Per quanto riguarda il blocco B4, esso si occupa di fornire adeguato supporto decisionale e consente di ordinare, secondo metriche di categorizzazione del rischio, un insieme di punti di interesse relativamente a specifiche minacce naturali (terremoti, alluvioni, frane) che possono essere statiche oppure rilevate real-time. Il valore aggiunto del sistema, in quest'ultimo caso, è quello di offrire all'utente finale del sistema una indicazione dei principali punti d'interesse (e.g. ospedali, edifici pubblici, etc.) più a rischio a seconda della minaccia considerata, della vulnerabilità alla minaccia e della criticità.

Nei successivi sotto-paragrafi verranno descritte le attività principali della fase di analisi e progettazione della piattaforma CIPCast-ER:

- Lo **schema concettuale** contenente un diagramma dei casi d'uso e la lista dei requisiti funzionali (in funzione dei requisiti relativi all'attività "Smart Roads" descritte nel Paragrafo 2.1).
- L'**architettura software** di CIPCast-ER contenente un insieme di componenti software necessari per il supporto alle azioni richieste dagli utenti veicoli, la memorizzazione dei dati, l'analisi di dati provenienti dai *device* (veicoli e pali intelligenti) e dati di forecast meteorologico o di traffico stradale. In particolare, verranno descritti i diagrammi UML dell'architettura e delle classi.
- Il **modello concettuale del database** di CIPCast-ER per la memorizzazione dei dati provenienti dai *device* (veicoli e pali intelligenti), dei dati di forecast meteorologico, di traffico stradale, etc. e i dati di elaborazione e.g. percorsi suggeriti ai veicoli.

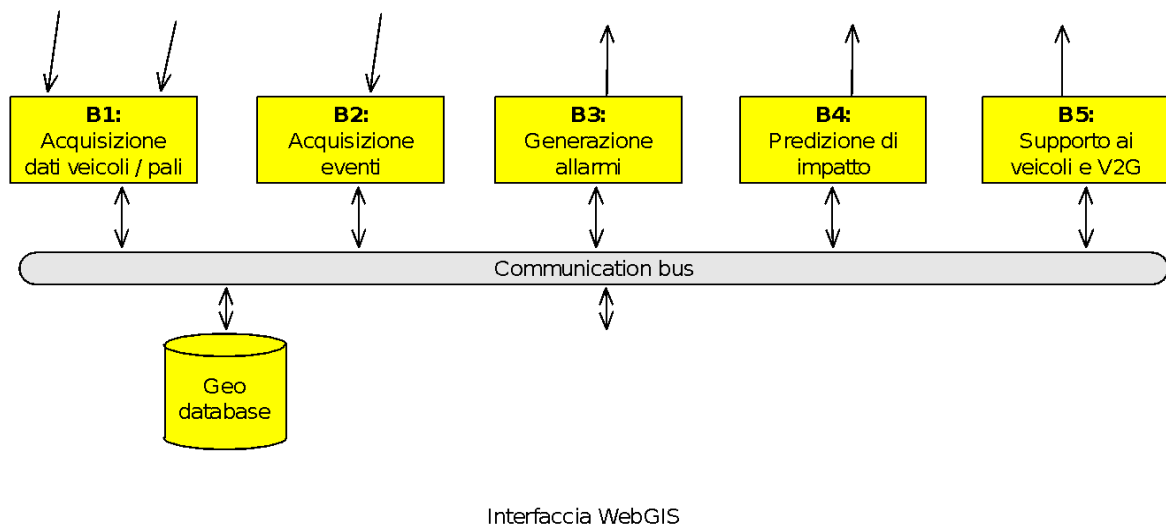


Figura 6. Schema a blocchi funzionali della Piattaforma CIPCast-ER

2.2.2 Schema concettuale

Diagramma dei Casi d'uso

Attori:

- **User:** l'utente finale della piattaforma CIPCast-ER che accede all'applicazione WebGIS e può visualizzare un insieme di mappe GIS (localizzazione veicoli, mappe di rischio del manto stradale)
- **Veicolo:** il sistema software presente a bordo del veicolo che comunica con il palo più vicino per interagire con CIPCast-ER
- **Palo Intelligente:** il sistema software che interagisce con i veicoli e con CIPCast-ER.

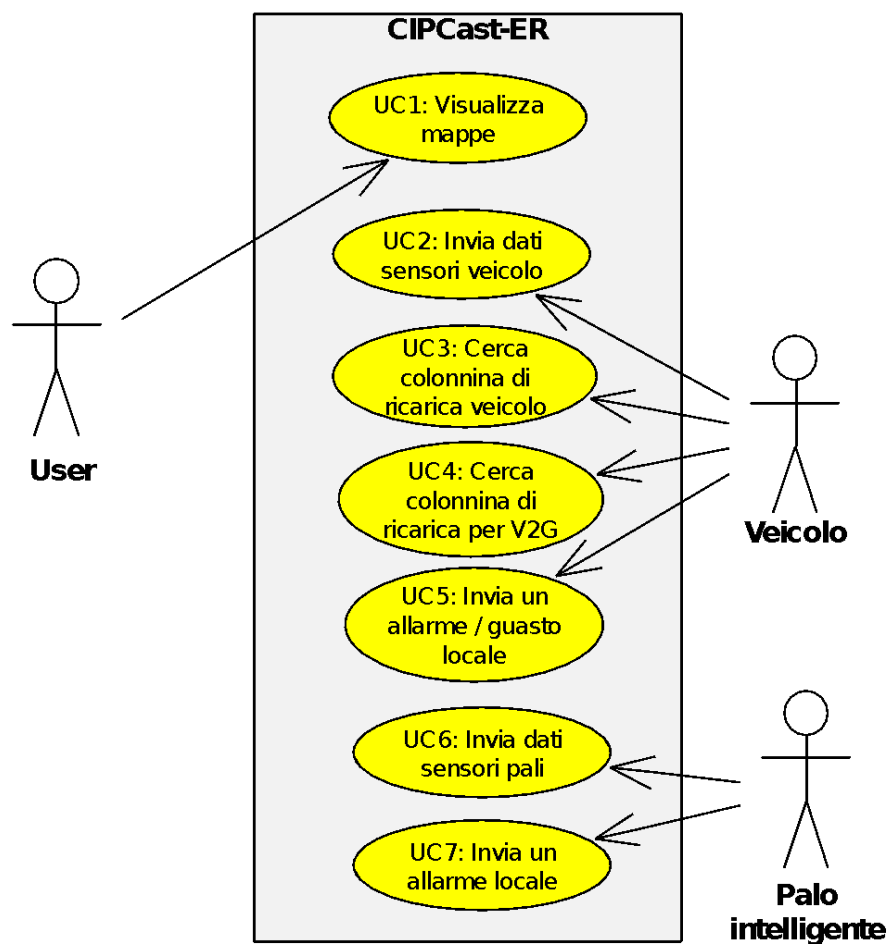


Figura 7. Diagramma dei Casi d'uso

Lista dei casi d'uso

Caso d'uso	Descrizione
UC1: Visualizza Mappe	L'utente User si deve loggare sulla piattaforma CIPCast-ER tramite ID e password. Dopodiché, può abilitare la visualizzazione di mappe cliccando su apposite check box poste sul pannello sinistro della piattaforma. Nel pannello centrale vengono visualizzate le varie mappe (Figura 8).
UC2: Invia dati sensori veicolo	L'utente Veicolo , nel momento in cui è connesso in modalità WiFi ad uno dei pali intelligenti, trasmette i dati rilevati dal veicolo compreso un identificativo del veicolo.
UC3: Cerca colonnina di ricarica veicolo	L'utente Veicolo nel momento in cui è connesso in modalità WiFi ad uno dei pali intelligenti, invia la richiesta di ricerca colonnina di ricarica inviando la posizione attuale ovvero il palo al quale è connesso compreso un identificativo del veicolo.
UC4: Cerca colonnina di ricarica per V2G	L'utente Veicolo nel momento in cui è connesso in modalità WiFi ad uno dei pali intelligenti, invia una richiesta di ricerca colonnina di ricarica per V2G per supportare la rete elettrica.
UC5: Invia un allarme / guasto locale	L'utente Veicolo invia un allarme inviando la posizione attuale, il codice dell'allarme compreso un identificativo del veicolo
UC6: Invia dati sensori palo	L'utente Palo trasmette i dati rilevati dai sensori compreso un identificativo del palo.
UC7: Invia un allarme locale	L'utente Palo invia un allarme inviando la posizione attuale, il codice dell'allarme compreso un identificativo del palo

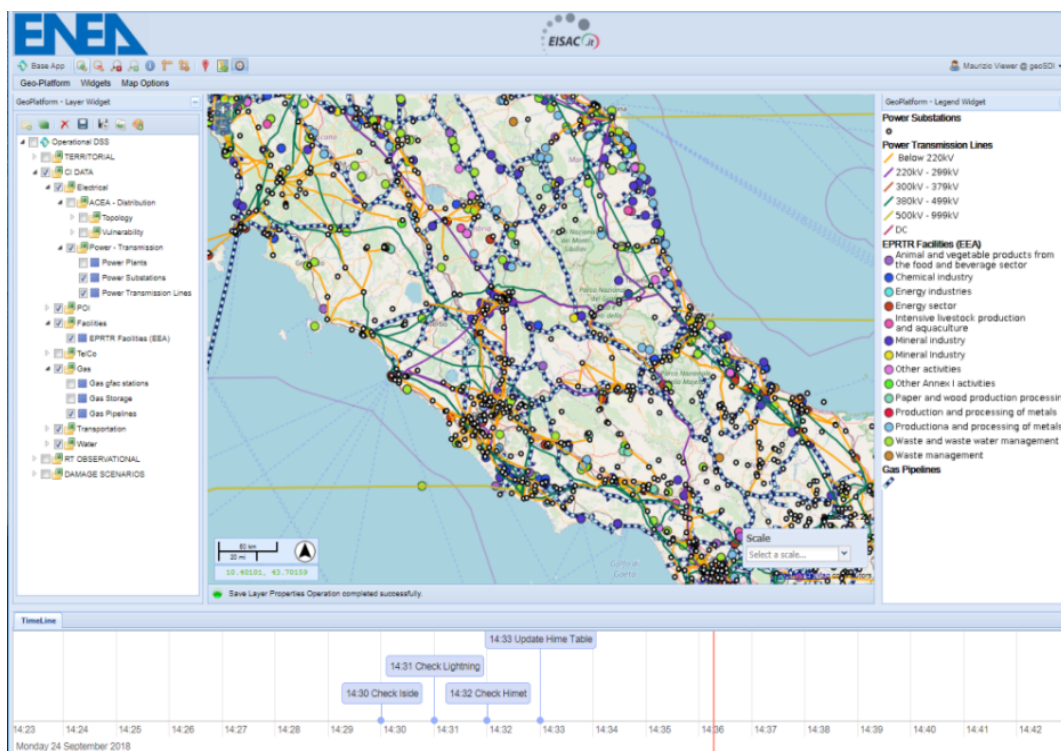


Figura 8. Caso d'uso CU1: Visualizzazione di mappe GIS

Lista dei requisiti

Tabella 3. Lista dei Requisiti funzionali

Tipo requisito	Numero	Descrizione
CAPACITA' DI ACQUISIZIONE ALLARMI DA VEICOLO	R01	Il sistema è in grado di acquisire un guasto di tipo meccanico proveniente dal veicolo
	R02	Il sistema è in grado di acquisire un allarme di emergenza a bordo (e.g. malore del conducente) di un veicolo
	R03	Il sistema è in grado di acquisire un allarme di manto stradale sconnesso proveniente da un veicolo
CAPACITA' DI VISUALIZZAZIONE	R04	Il sistema è in grado di visualizzare su una mappa la posizione in tempo reale dei veicoli.
	R05	Il sistema è in grado di visualizzare la posizione in cui sono stati generati gli allarmi giornalieri dei veicoli
	R06	Il sistema è in grado di visualizzare una mappa di concentrazione dell'inquinamento giornaliero prodotto dei veicoli
	R07	Il sistema è in grado di visualizzare la mappa delle colonnine di ricarica
	R08	Il sistema è in grado di visualizzare la mappa dei pali intelligenti

CAPACITA' DI GENERAZIONE ALLARMI	R09	Il sistema è in grado di generare allarmi al verificarsi di eventi sismici e di trasmetterli ai veicoli che transitano nell'area interessata dall'evento
	R10	Il sistema è in grado di generare allarmi al verificarsi di eventi franosi e di trasmetterli ai veicoli che transitano nell'area interessata dall'evento
	R11	Il sistema è in grado di generare allarmi al verificarsi di eventi meteorologici e di trasmetterli ai veicoli che transitano nell'area interessata dall'evento
	R12	Il sistema è in grado di generare allarmi di manto stradale sconnesso e di trasmetterli ai veicoli che transitano nell'area interessata dall'evento
	R13	Il sistema è in grado di generare un allarme di traffico stradale e di trasmetterli ai veicoli che transitano nell'area interessata
	R14	Il sistema è in grado di generare un allarme di percorso impraticabile quando il percorso di un veicolo incrocia delle aree in cui sono state rilevati degli eventi avversi i.e. eventi sismici, franosi, meteorologici, di manto stradale sconnesso e di traffico e di trasmetterli ai veicoli.
CAPACITA' DI SUPPORTO AL VEICOLO E AI PALI	R15	Il sistema è in grado di suggerire la colonnina di ricarica più vicina alla destinazione finale del veicolo sulla base dello stato di carica della batteria e del percorso di viaggio;
	R16	Il sistema è in grado di indirizzare i veicoli con sufficiente carica nella batteria presso una colonnina vicina alla destinazione finale per supportare la rete elettrica in modalità V2G (Vehicle to Grid);
	R17	Il sistema è in grado di inviare un mezzo di soccorso stradale al veicolo con guasto di tipo meccanico o di emergenza a bordo
	R18	Il sistema è in grado di pilotare l'illuminazione dei pali intelligenti in funzione della posizione del veicolo.
ARCHITETTURA	R19	Il sistema possiede una interfaccia WebGIS per l'analisi di dati geografici e mappe tematiche, l'esecuzione di processi e simulazioni sismiche e produzione e valutazione di scenari secondo gli standard Open Geospatial Consortium (OGC), come ad esempio il Web Map Service (WMS).
	R20	Integra un geodatabase relazionale PostgreSQL per gestire dati statici, dinamici e di previsione di eventi naturali.
	R21	Il geodatabase integra (i) i dati dinamici dei veicoli suddivisi in dati chimici, del manto stradale, di localizzazione, di percorso, elettrici e di allarme; (ii) dati dinamici dei pali intelligenti ; (iii) i dati di previsione, acquisizione e simulazione di eventi naturali (e.g., meteorologici, sismici); (iv) dati relativi agli allarmi generati; (v) dati relativi alla localizzazione delle colonnine di ricarica ; (vi) dati di concentrazione dell'inquinamento ; (vii) dati di account e password utente per l'accesso alla piattaforma WebGIS
	R22	Il geodatabase conterrà alcuni strati informativi (georeferenziati) statici, vale a dire acquisiti da sorgenti pubbliche di dati certificati e.g. il reticolo stradale di riferimento e dati di traffico stradale.
	R23	Permette un accesso sicuro agli strati informativi sensibili del geodatabase attraverso .

2.2.3 Architettura software

Come mostrato in Figura 9, il sistema complessivo può essere distinto nella rete di campo comprendente l'insieme dei pali intelligenti e dei veicoli e dall'infrastruttura di gestione di CIPCast-ER.

Ogni veicolo è dotato di collegamento WiFi che viene erogato da ogni palo intelligente e permette dunque i collegamenti veicolo-CIPCast-ER e palo-CIPCast-ER.

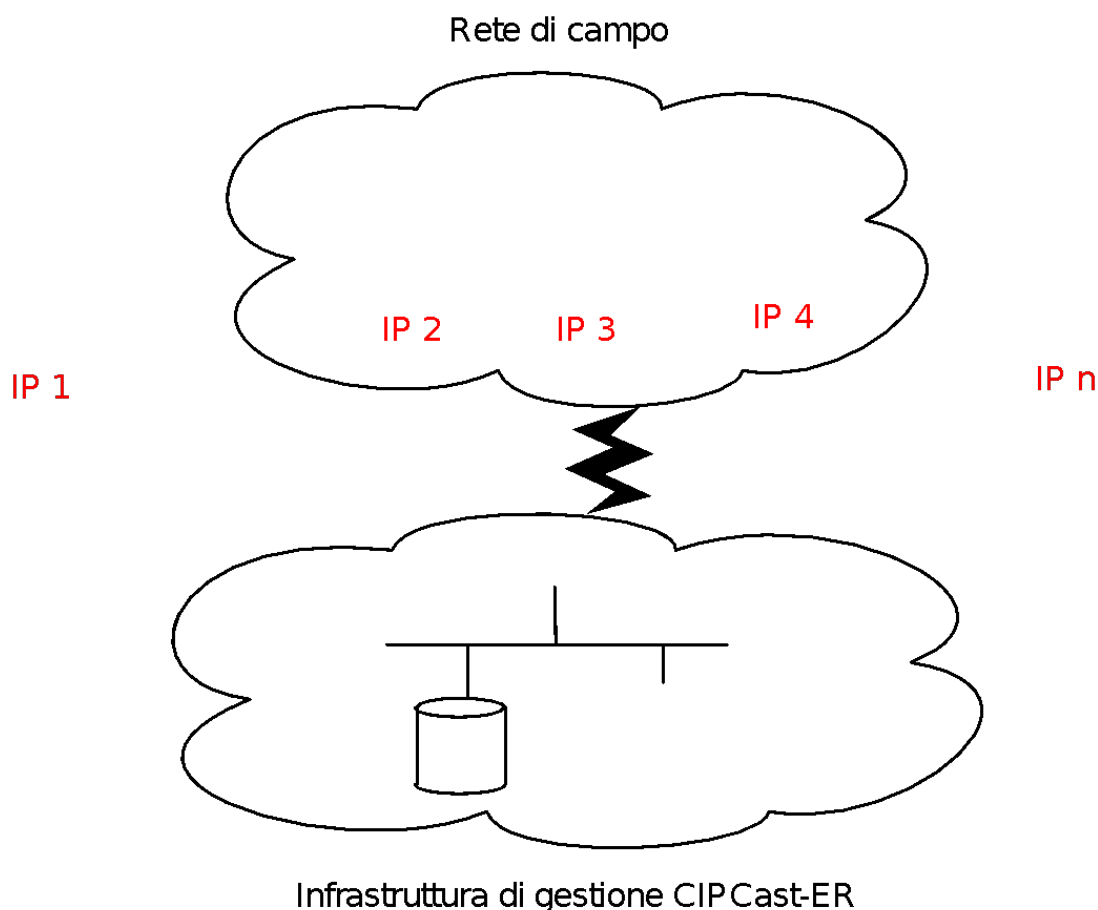


Figura 9. Rete di campo e infrastruttura di gestione di CIPCast-ER.

In Figura 10 viene illustrata l'architettura software di dettaglio di CIPCast-ER secondo un approccio a strati. I livelli presi in esame sono nettamente distinti tra loro, ciò vuol dire che possono comunicare seguendo una specifica gerarchia. Ogni livello è caratterizzato dal proprio ruolo all'interno del sistema complessivo, senza invadere gli altri, ma scambiando con essi le informazioni per l'esecuzione delle elaborazioni necessarie. I tre strati analizzati sono i seguenti:

- **Presentation Layer** (Livello di Presentazione);

- **Application Processing Layer** (Livello Applicativo);
- **Data Management Layer** (Livello di Gestione Dati).

Presentation Layer

Il Presentation Layer ha il compito di interagire direttamente con l'utente del sistema, acquisendo i dati di input che vengono immessi e successivamente visualizzare i risultati dell'elaborazione effettuata tramite mappe che sono il risultato di sovrapposizione di diversi strati informativi.

Questo livello permette all'utente di visualizzare i vari strati informativi tra cui quelli relativi alle posizioni dei veicoli e dei pali intelligenti. A questo livello, abbiamo il seguente componente:

- **CIPCast-ER-web** rappresenta il front-end della piattaforma accessibile via web costituita da due componenti: un frame costituito da un insieme di check-box con i nomi dei layer GIS (e.g., posizione dei veicoli, pali) e un frame centrale che mostra la/le mappa/e selezionate.

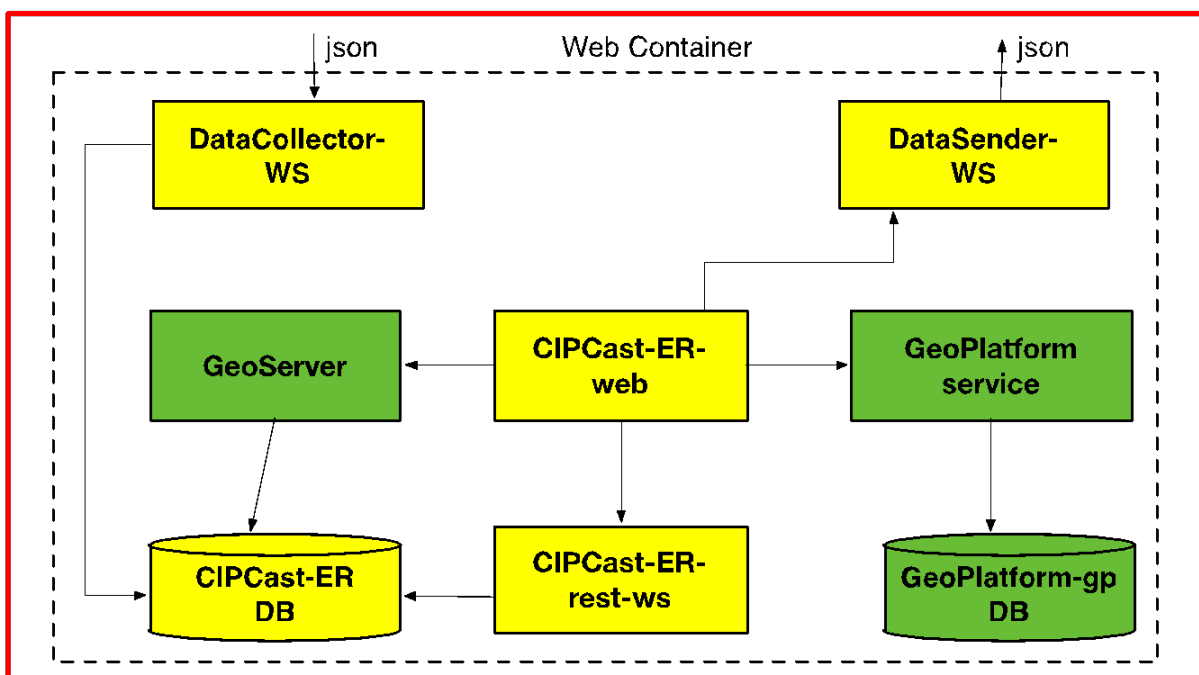


Figura 10 Architettura software di CIPCast-ER (in giallo: componenti sviluppati, in verde: componenti proprietari)

Tutte le mappe e gli strati informativi, sia disponibili come dati di base, sia prodotti nell'ambito delle elaborazioni, sono organizzati per essere utilizzati in CIPCast-ER e per essere visualizzati ed interrogati mediante il front-end.

Application Processing Layer

L'Application Processing Layer è il cuore dell'elaborazione dei dati dove viene implementata la "business logic" del sistema. Di seguito vengono descritti i componenti di questo livello:

- **GeoPlatform-service** responsabile delle funzionalità di login e logout e del caricamento dei dati degli utenti, quest'ultimi contenuti nel database GeoPlatform-gp.
- **GeoServer** è un server open source (rilasciato sotto licenza GNU), Java-based, che consente all'utente di visualizzare, modificare e condividere i dati geospaziali, grazie all'utilizzo di protocolli definiti dall' Open Geospatial Consortium¹ (OGC). Esso consente la correlazione tra i dati geospaziali presenti nel database e lo stile di rappresentazione.
- **CIPCast-ER-rest-ws** rappresenta il componente in cui sono codificate le API relative all'accesso al database e le funzioni di elaborazione (e.g., ricerca della colonnina di ricarica più vicina al veicolo).
- **DataCollector-WS, DataSender-WS**: descrivono due servizi RESTful che servono rispettivamente per la memorizzazione e invio di dati da/verso ii veicoli e pali rispettivamente.

In particolare, la suite software GeoServer permette di fornire mappe e dati da una varietà di formati a client standard, come i browser web e software GIS di tipo desktop. Ciò rende possibile memorizzare i dati spaziali in quasi qualsiasi formato si preferisce. Dal punto di vista tecnico, GeoServer è l'implementazione di riferimento degli standard OGC²: Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS) e Web Map Service (WMS).

Data Management Layer

- Il database **GeoPlatform-gp** contiene i dati relativi all'accesso alla piattaforma GeoPlatform (utenti, ruoli e progetti) mentre il database CIPCast-ES-DB contiene i dati necessari al sistema CIPCast-ES (edifici, configurazione, risultati, infrastrutture).
- Il database **GeoPlatform-gp** contiene i dati relativi ai veicoli, pali, mappe di rischio. Tale DB viene descritto nella sezione successiva.

2.2.4 Modello concettuale del database

Il GeoDatabase di CIPCast-ER è stato opportunamente strutturato e organizzato, e per gestire i vari strati informativi (*layers*) utilizzati. In generale, partendo dall'individuazione dei dati e delle informazioni necessarie agli sviluppi applicativi, si è provveduto alla definizione di un modello dei dati (Data Model, implementato appunto mediante il GeoDatabase, ossia la Banca Dati Geospaziale),

¹ <https://www.opengeospatial.org/>

² OGC Standard: <https://www.opengeospatial.org/docs/is>

strutturato mediante una serie di strati informativi di base e di informazioni derivate, con particolare attenzione agli aspetti riferibili all'area di studio. Tutte le mappe e gli strati informativi utilizzati, compresi quelli prodotti nell'ambito delle elaborazioni, sono stati organizzati per essere visualizzati ed interrogati mediante applicativi geo-cartografici (nel caso specifico, il front end descritto nel precedente sotto-paragrafo).

Partendo da quanto già sviluppato in CIPCast, è già disponibile un'ampia serie di dati ed informazioni territoriali di base e specifiche, differenti per tipologia e modalità d'utilizzo (acquisizione, elaborazione, integrazione, etc.), di seguito raggruppati per categoria:

- dati geografici di base ed informazioni territoriali di dettaglio (mappe di rischio, idrologia e geomorfologia, sismicità etc.);
- dati sull'edificato e sulla dislocazione (posizionamento, topologia, etc.) delle infrastrutture considerate e dei loro elementi e caratteristiche specifiche (e.g. tipologia, vulnerabilità alle varie sorgenti perturbative);
- dati da sensori specifici (ad esempio, eventi sismici, stazioni meteorologiche, etc.) e da modelli (e.g. meteo-idrologici) per avere un quadro costantemente aggiornato delle condizioni esterne;
- open data relativi ad esempio ad informazioni statistiche sulla popolazione, sulle infrastrutture, sulla distribuzione dei punti di interesse (POI) etc.

Come si può notare in Figura 11, il GeoDatabase modella i dati relativi ai veicoli, ai pali, agli allarmi verificatisi e agli eventi rilevati (e.g., sismici) comprensivi di localizzazione. In generale, esso contiene dati "statici" (e.g., la posizione dei pali) e dinamici (e.g., i dati chimici dei veicoli).

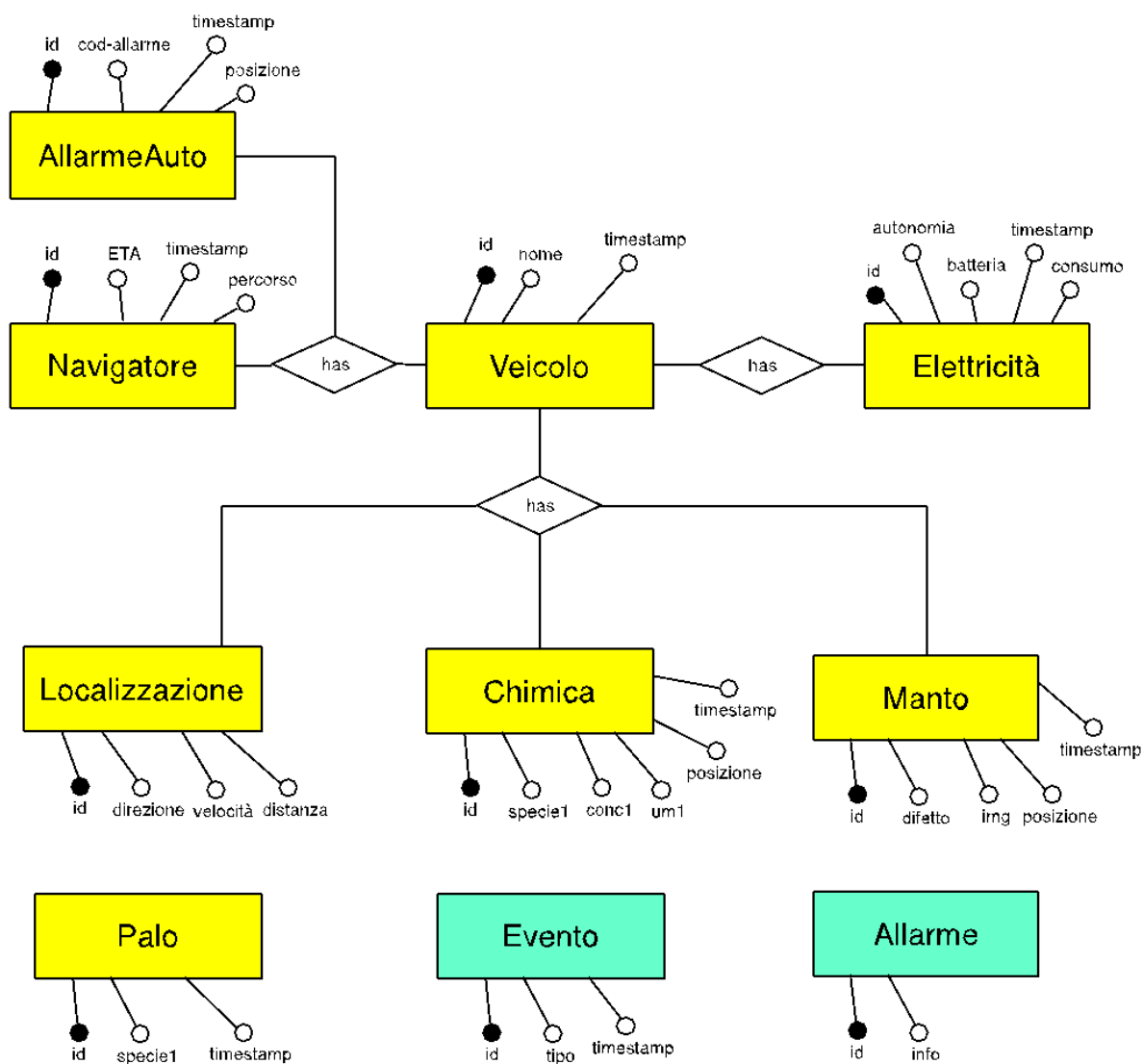


Figura 11. Diagramma concettuale del database CIPCast-ER-DB.

Per quanto riguarda i nuovi set di dati specificatamente selezionati e presi in considerazione per gli ulteriori sviluppi della piattaforma previsti in CIPCast-ER, in Tabella 4 è riportato l'elenco completo degli strati informativi gestiti/archiviati (o da gestire/archiviare) nel GeoDatabase.

Tabella 4. Elenco dei dati e degli strati informativi gestiti e/o archiviati nella Piattaforma CIPCast-ES

Dato/Strato informativo	Fonte	Tipologia Dato GIS	Tipologia
GIS Layer di Base (Limiti Amministrativi, Idrografia, aree urbane, etc.) e relativi alla rete stradale	ISPRA -SINANET	Vettoriale (punti, linee, poligoni)	Territorio & Infrastrutture
OpenStreetMap free data (Reticolo Stradale con indicazione dello stato di traffico, Punti di interesse - POI)	OSM	Vettoriale (punti, linee)	Territorio & Infrastrutture
Rete elettrica di distribuzione Roma	ARETI	Vettoriale (punti e linee)	Infrastrutture
Colonnine di ricarica	-	Vettoriale (punti)	Infrastrutture
Veicoli autonomi real-time	ENEA	Vettoriale (punti)	Infrastrutture
Pali intelligenti	ENEA	Vettoriale (punti)	Infrastrutture
Concentrazione degli inquinanti real-time	ENEA	Raster	Ambientale

2.2.5 Software e Tecnologie utilizzate

In questa sezione verranno descritte i software open source e le tecnologie utilizzati dalla piattaforma CIPCast-ER (Figura 12).

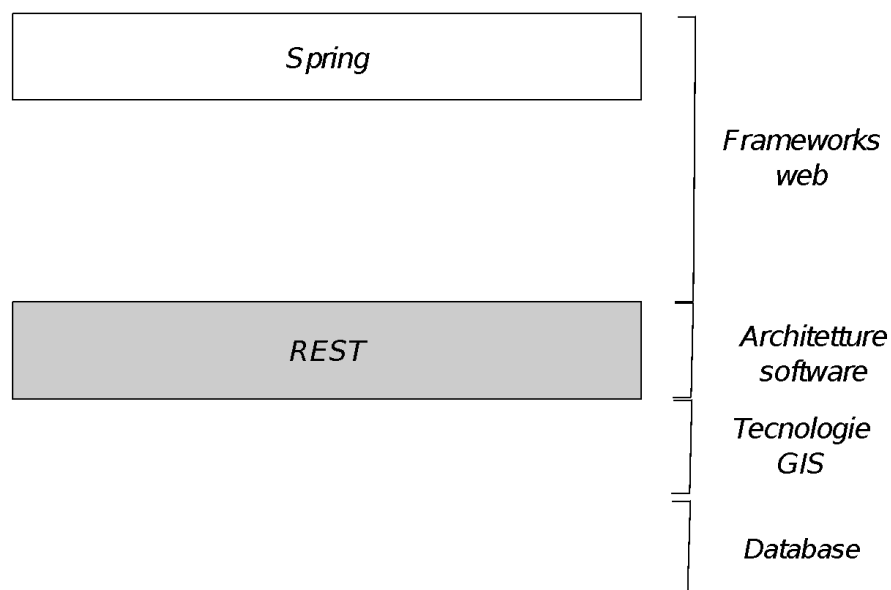


Figura 12. Software e tecnologie utilizzate da CIPCast-ER.

Essi sono elencati di seguito:

- **Spring** è un framework open source nato con l'intento di gestire la complessità nello sviluppo di applicazioni *enterprise* in Java. Oltre a configurarsi come un framework "leggero", utilizzabile cioè solo in parte, Spring si pone anche come web container in alternativa o complemento a Java EE per lo sviluppo di entità di business. Tale semplicità è rafforzata dall'utilizzo di tecnologie come l'*Inversion of Control* e l'*Aspect Oriented* che danno maggiore spessore al framework e favoriscono la focalizzazione dello sviluppatore sulla logica applicativa essenziale. A differenza di molti framework che si concentrano maggiormente nel fornire soluzioni a problemi specifici, Spring mette a disposizione una serie completa di strumenti atti a gestire l'intera complessità di un progetto software.
- **GeoPlatform** è una piattaforma open source WebGIS basata su GWT e OpenLayers che rende disponibile una serie di componenti tra cui: un **map widget** costituito da un insieme di mappe GIS interattive, un **layer tree** degli strati informativi, un **gestore degli utenti** della piattaforma, un **gestore dei layers** (Figura 13).
- **Google Web Toolkit (GWT)** è un framework di sviluppo Java per l'implementazione di applicazioni web interattive (Rich Internet Application). GWT permette di sviluppare applicazioni di tipo AJAX (Asynchronous JavaScript e XML) basata su chiamate asincrone per cui i dati extra richiesti per l'aggiornamento dinamico di una pagina sono caricati in background senza interferire con il comportamento della pagina esistente.
- **REST (Representational State Transfer)** è uno stile architetturale (di architettura software) per i sistemi distribuiti. L'architettura REST si basa su HTTP; il funzionamento prevede una struttura degli URL ben definita (atta a identificare univocamente una risorsa o un insieme di risorse) e l'utilizzo dei verbi HTTP specifici per il recupero di informazioni (GET), per la modifica (POST, PUT, PATCH, DELETE) e per altri scopi (OPTIONS, ecc.). Questo particolare aspetto è approfondito nella sezione "Relazione tra gli URL e i metodi HTTP".
- **GeoServer** è un server open source, rilasciato con licenza GNU, che consente all'utente di visualizzare, modificare e condividere i dati geospaziali, grazie all'utilizzo di protocolli definiti. Esso consente la gestione dei layers, che consiste nella specifica della sorgente dei dati e nella definizione dello stile, tramite il linguaggio di markup SDL. La sorgente dei dati può essere specificata semplicemente attraverso il riferimento alla tabella di un database di interesse oppure definendo apposite viste tramite query SQL. I Layer contenuti in GeoServer sono reperibili tramite chiamate http.
- **OpenLayers** utilizzato per la gestione e la manipolazione client side dei dati forniti da GeoServer. È una libreria JavaScript, il cui obiettivo centrale è separare gli strumenti per la presentazione dei dati sulla mappa dai dati veri e propri, in modo che si possa lavorare sulla più grande varietà di sorgenti con molta facilità. Il vantaggio di OpenLayers è che rende fattibile inserire una mappa dinamica in qualsiasi pagina Web.

- **Java Persistence API (JPA)** è una libreria Java che si occupa della gestione dell'accesso e della persistenza dei dati. Esso consente di associare oggetti Java con tabelle di un database relazionale. JPA è utilizzabile da applicazioni Web o Client, o anche all'esterno della piattaforma Java EE, come applicazioni Java SE.
- **PostgreSQL** è un DBMS progettato per consentire la creazione e manipolazione efficiente di database relazionali. PostGIS è un'estensione di PostgreSQL, che alla base conserva tutte le caratteristiche di un classico database relazionale ad oggetti. In aggiunta giova di dati geometrici e funzionalità per lavorare agevolmente con essi.

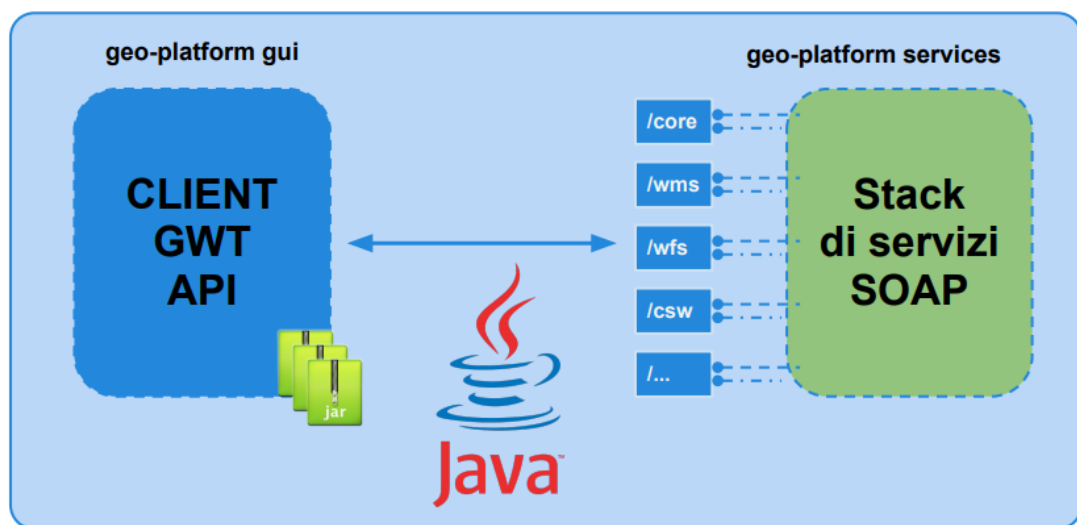


Figura 13. Architettura di GeoPlatform.

In Figura 14 viene mostrato, infine, l'utilizzo delle tecnologie e tools relativamente ai componenti descritti nell'architettura software.

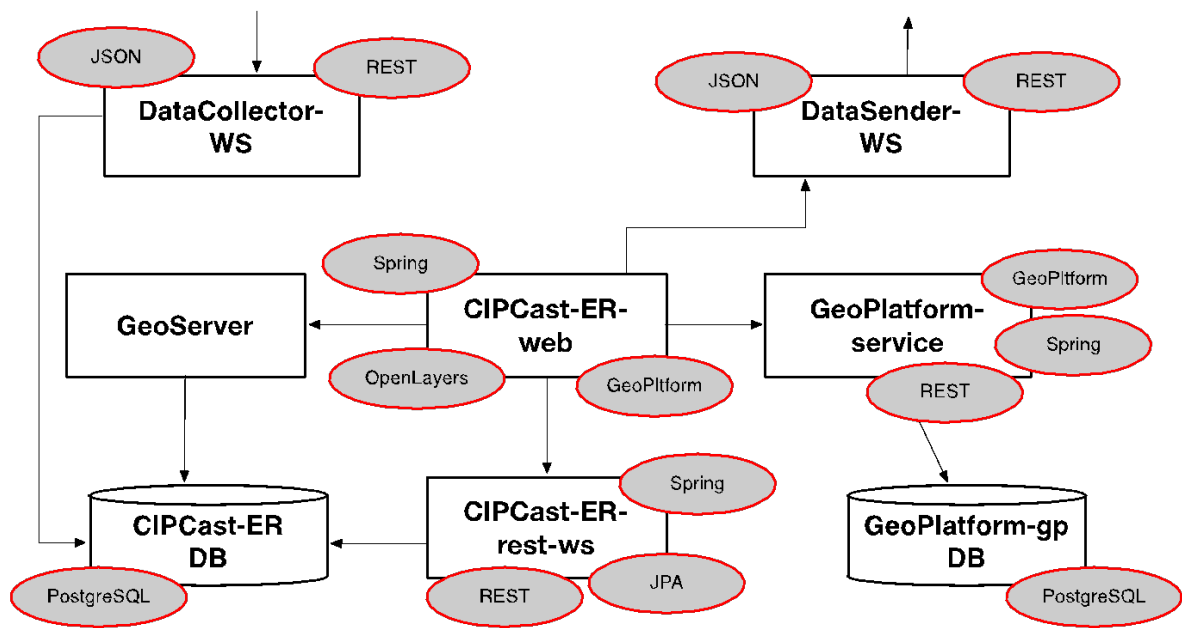


Figura 14. Software e tecnologie utilizzate in CIPCast-ER dai singoli componenti.

2.3 Smart Cool Place

Questo progetto mira allo sviluppo di soluzioni per la mitigazione del microclima urbano attraverso l'applicazione di *blue-technologies*, nello specifico sfruttare il raffrescamento evaporativo ottenibile dalla nebulizzazione dell'acqua. Il tema delle tecnologie blu riscuote attenzione sempre maggiore nei progetti di rigenerazione urbana, dapprima per ragioni essenzialmente di valenza architettonica ed estetica, recentemente anche per rispondere a criteri di sostenibilità. Obiettivo dell'ENEA è individuare soluzioni progettuali atte a perseguire questi obiettivi, traguardando come possibili applicazioni l'integrazione con ambiti edificati, ad esempio edifici scolastici e complessi di social housing, così da evitare la proliferazione di sistemi di condizionamento meccanico indoor e garantire il comfort in appositi spazi outdoor. L'attività riguarda tre direttrici principali:

- Mitigazione del clima urbano. La tecnologia consente di ridurre la temperatura all'interno dello spazio i fino a 6°C rispetto alle zone urbane circostanti, combinando tecnologie attive e passive di raffrescamento.
- Approccio smart city. Possibilità di integrare il sistema con sensoristica da campo che, opportunamente integrata in un sistema più ampio, fornirà alla cittadinanza informazioni sulle condizioni climatiche esterne e interne all'oasi, ed eventualmente ulteriori servizi smart (display informativi, ricariche elettriche, ecc.)
- Autosufficienza energetica. Prevedere l'inserimento di fonti rinnovabili e, se necessario, sistemi di accumulo elettrici, in grado di garantire il funzionamento dei componenti energivori e dei servizi smart durante tutte le ore del giorno.

In questo report si presenta uno stato dell'arte sui principali aspetti legati allo sviluppo di sistemi evaporativi per la mitigazione del surriscaldamento a scala urbana, tenendo anche in considerazione i risultati raggiunti nell'ambito delle attività del precedente triennio di Ricerca di Sistema Elettrico ed in particolare nel PAR 2016 (Report RdS/PAR2016/011 (ENEA) e RdS/PAR2016/016 (Università della Marche) e nel PAR 2017 (Report RdS/PAR2017/053 (ENEA) e RdS/PAR2017/057 (Università delle Marche). Sono in particolare analizzati gli aspetti relativi a: indicatori di comfort termico outdoor, integrazione e valenza architettonica di sistemi basati su *blue-technologies*, potenziale di mitigazione della tecnologia, requisiti per l'autosufficienza energetica di tali sistemi.

2.3.1 Sugli indicatori di comfort termico outdoor

Le condizioni di comfort nel microclima urbano, analogamente a quanto avviene per gli spazi confinati, si verificano quando la combinazione dei valori di una serie di grandezze dà luogo ad una sensazione di benessere termico per l'individuo. Per avere un riscontro più immediato della qualità termica outdoor sono stati sviluppati diversi indici di riferimento. A differenza di quanto avviene negli edifici, per i quali

sono diffusamente accettati e raccomandati pochi indicatori in funzione delle condizioni uso dell'edificio, per applicazioni outdoor esistono numerosi modelli, più o meno accettati/utilizzati. Il problema maggiore è la capacità di un singolo indicatore di coprire l'elevata variabilità dei parametri microclimatici (temperatura e umidità relativa dell'aria, velocità del vento, irradiazione solare) e le sensazioni che essi indicano negli individui nelle varie zone del pianeta (ad esempio, un indicatore dovrebbe coprire efficacemente temperature variabili tra -20°C - inverno canadese - e 50°C - estati saudite, ed anche la sensazione termica che inducono nei relativi abitanti). Per questo motivo a tutt'oggi non esiste un indice universalmente accettato, anzi, accettando implicitamente la possibilità di raggiungere tale obiettivo, diversi di essi hanno applicazione soltanto regionale. A tutt'oggi, in ogni caso, rimangono significative le discrepanze tra il valore degli indicatori, calcolato in modo oggettivo, e la risposta soggettiva degli individui, come dimostrato in molti studi scientifici.

La seguente review ha come obiettivo di presentare i principali indicatori di comfort termico, argomento importante e propedeutico alle attività di ricerca sul tema del microclima urbano, per le quali è necessario individuare il KPI di riferimento per verificare l'efficacia dei sistemi di mitigazione evaporativi.

Gli indici di comfort si basano in generale sul raggiungimento dell'equilibrio termico dell'essere umano, in funzione di: attività metabolica (ossia il lavoro meccanico svolto dall'individuo), abbigliamento e parametri ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria, irradiazione solare e umidità relativa) e risposta fisica e percettiva del soggetto. L'approccio deriva dagli studi fatti per l'ambiente costruito e poi derivati per l'ambiente esterno. L'equazione generale che regola il bilancio energetico del corpo umano è:

$$M + W + R + C + E_D + E_{RE} + E_{SW} = 0$$

dove:

M = attività metabolica

W = attività fisica

R = radiazione netta del corpo

C = calore per convezione

E_D = calore latente necessario a trasformare l'acqua in vapore d'acqua attraverso la pelle

E_{RE} = somma dei flussi di calore necessari a riscaldare e umidificare l'aria inspirata

E_{SW} = flusso di calore dovuto all'evaporazione del sudore

S = immagazzinamento dei flussi di calore necessari a riscaldare o raffreddare la massa corporea

Tutti gli indici seguenti condensano una variabilità da diversi parametri e i valori in determinate condizioni di utilizzo sono collocati in una scala di riferimento, che consente di stabilire il livello di comfort raggiunto o raggiungibile dall'individuo in quel dato contesto urbano.

Nomenclatura:

C	scambio ambientale dovuto alla convezione (W)
DhR	rischio di disidratazione (scala descrittiva)
clo	resistenza termica dei vestiti
E	tasso di raffreddamento (W) prodotto dal sudore, necessario per l'equilibrio
e	tensione di vapore dell'aria (hPa)
E_D	calore latente necessario a trasformare l'acqua in vapore d'acqua attraverso la pelle
E_{max}	capacità evaporativa dell'aria (W) secondo velocità, umidità relativa e la temperatura dell'aria
E_{RE}	somma dei flussi di calore necessari a riscaldare e umidificare l'aria inspirata
$ERFSi$	campo di radiazione a corto raggio effettivo ($W \cdot m^{-2}$).
E_{SW}	flusso di calore dovuto all'evaporazione del sudore
f	efficacia raffreddante della sudorazione (adimensionale)
G	radiazione solare globale ($W \cdot m^{-2}$)
HL	carico di calore nell'uomo (-)
hu	coefficiente di trasferimento di calore standardizzato pari a $7.5 (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$
L	altitudine (°)
M	tasso metabolico del copro (W)
MRT	temperatura media radiante (°C)
$NUATFi$	campo di temperatura dell'aria non uniforme ($W \cdot m^{-2}$)
OcR	rischio di sottoraffreddamento (min)
$Offset$	deviazione rispetto alla temperatura dell'aria (°C)
OhR	rischio di surriscaldamento (min)

p_a	pressione di vapore d'acqua (hPa)
PhS	sforzo fisiologico (-)
PMV	Voto medio predetto (-)
PST	temperatura soggettiva fisiologica ($^{\circ}C$)
Q	radiazione netta assorbita dal corpo umano ($W \cdot m^{-2}$)
R	potenza termica sensibile scambiata per irraggiamento (W)
RH	umidità relativa (%)
$\dot{R}n$	scambio ambientale netto dovuto alla radiazione (W)
S	immagazzinamento dei flussi di calore necessari a riscaldare o raffreddare la massa corporea
$SECFi$	campo di conduzione effettiva standard ($W \cdot m^{-2}$).
$SEHFi$	campo umido effettivo standard ($W \cdot m^{-2}$).
$SERFLi$	campo di irradiazione a lungo raggio effettivo standard ($W \cdot m^{-2}$)
STI	temperatura soggettiva ($^{\circ}C$)
SW	perdita d'acqua ($g \cdot h^{-1}$)
T	temperatura dell'aria ($^{\circ}C$)
TAV	temperatura media annuale ($^{\circ}C$)
T_g	temperatura globo ($^{\circ}C$)
TM	temperatura media del mese più caldo ($^{\circ}C$)
Tm	temperatura media del mese più freddo ($^{\circ}C$)
$TVFei$	campo di velocità termica relativo all'evaporazione ($W \cdot m^{-2}$)
$TVFi$	campo di velocità termica ($W \cdot m^{-2}$)
$TVFri$	campo di velocità termica relativo alla radiazione ($W \cdot m^{-2}$)
Tw	temperatura bulbo umido
V	velocità del vento ($m \cdot s^{-1}$)
W	potenza metabolica trasferita in lavoro meccanico (W)

Modello COMFA

È un modello matematico che descrive l'equilibrio energetico umano basandosi su 4 elementi: tasso di traspirazione, budget energetico, temperatura interna ed esterna della pelle. L'equazione che descrive il modello è [25]. Il budget energetico è espresso attraverso una scala termica a 5 punti che va da -150(W·m⁻²) a +150(W·m⁻²).

Universal Effective Temperature (ETU)

È la temperatura dell'aria in un ambiente isoterma (50% umidità, 0.1 m·s⁻¹ velocità del vento e isolamento dell'abbigliamento pari a 0 clo) per cui il corpo umano ha lo stesso scambio di calore di un ambiente reale. L'equazione di riferimento è [26]:

$$ETU = T + \frac{\Sigma NUATFi}{hu} + \frac{\Sigma TVFi}{hu} + \frac{\Sigma SERFLi}{hu} + \frac{\Sigma TVFri}{hu} + \frac{\Sigma ERFSi}{hu} + \frac{\Sigma SEHFi}{hu} + \frac{\Sigma TVFei}{hu} + \frac{\Sigma SECFi}{hu}$$

ETU considera tutti i parametri ambientali che riguardano il corpo umano ed è in grado di analizzare lo scambio conduttivo tra corpo e ambiente; inoltre l'impatto di ogni parametro viene definito chiaramente in maniera separata, aiutando l'utente ad identificare gli aspetti critici del caso studio.

Index of Thermal Stress (ITS)

È definito come il rapporto tra il tasso di sudore secreto da una persona e necessario a mantenere l'equilibrio termico, e l'efficienza raffreddante del corpo, in funzione di: velocità del vento, umidità relativa e caratteristiche dell'abbigliamento. L'espressione assume la forma seguente:

$$ITS = E \cdot \frac{1}{f}$$

Essendo:

$$E = (M - W) \pm Rn \pm C$$

$$\frac{1}{f} = 0.6 \cdot \left(\frac{E}{E_{max}} - 0.12 \right)$$

L'indice è quindi correlato con una scala di sensazione termica a 7 punti, in cui 0 W è la neutralità termica mentre il passaggio verso sensazioni di tiepido caldo o molto caldo si verifica ad incrementi crescenti successivi di 320 W.

Modello MENEX

È un modello di equilibrio del calore nel corpoumano da cui si possono derivare i seguenti indici bioclimatici: STI, PhS, PST, HL, SW, DhR, OhR, OcR.

L'equazione del Modello MENEX è quella generale del bilancio termico del corpo umano. STI rappresenta il carico termico percepito dai soggetti prima del processo di adattamento, PhS esprime l'adattamento all'ambiente, PST rappresenta la sensazione dei soggetti dopo 15-20 minuti di adattamento al clima, HL è il carico del sistema di termoregolazione centrale per adattarsi all'ambiente, SW è la quantità di acqua trasudata in relazione a DhR che rappresenta il processo di disidratazione; infine OhR ed OcR sono rispettivamente i rischi di surriscaldamento e sottoraffreddamento.

Physiologically Equivalent Temperature (PET)

È definita come la temperatura dell'aria alla quale si mantiene l'equilibrio di calore del corpo umano con temperatura interna e sulla pelle uguale a quella sotto le cui condizioni vengono valutate. L'equazione generale si basa sul "Munich Energy- Balance Model for Individuals" [27]. La sensazione di neutralità termica del PET è stata adattata a diverse condizioni climatiche:

Europa Occidentale-Medio, zona neutrale tra 18 e 23 °C

Clima caldo umido di Taiwan, zona neutrale tra 26 e 30 °C

Clima mediterraneo costiero, zona neutrale tra 20 e 25 °C

Un ulteriore sviluppo del PET è il mPET (PET modificato) che migliora la capacità del modello di reagire alla variazione dell'umidità relativa (da un semplice modello del corpo multi-segmento) e in base all'isolamento dei vestiti.

Perceived Temperature (PT)

La temperatura percepita è un modello statistico definito come la temperatura dell'aria dell'ambiente di riferimento, dove la percezione termica (caldo e freddo) sarebbe la stessa che in condizioni reali. L'ambiente di riferimento presenta una temperatura dell'aria pari alla temperatura media radiante, un vento leggero e la pressione di vapor d'acqua la stessa dell'ambiente reale, fino al limite di condensazione.

La computazione si basa sul voto medio previsto di un soggetto standard che cammina ($135 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) e con abbigliamenti di 1.75 clo in inverno e 0.75 clo in estate.

Il PT è correlato al voto medio previsto, indice tipicamente indoor e l'espressione, ricavata per regressione su oltre 400.000 osservazioni sinottiche, è la seguente:

$$PT = \begin{cases} 5.805 + 12.6784 PMV, PMV < 0 \text{ e } Icl = 1.75 \text{ clo} \\ 21.258 - 9.558 Icl, PMV = 0 \text{ e } 1.75 \text{ clo} > Icl > 0.50 \text{ clo} \\ 16.828 + 6.183 PMV, PMV > 0 \text{ e } Icl = 0.50 \text{ clo} \end{cases}$$

La Temperatura Percepita è la procedura di valutazione termica standard del Servizio Meteo tedesco e viene applicata alla bioclimatologia urbana, alla ricerca sull'impatto climatico e al sistema di allarme termico sulla salute. Sono definiti 11 range di sensazione termica (da molto freddo a molto caldo). Il modello non richiede alcuna calibrazione in funzione della stagione o del sito.

New Standard Effective Temperature (SET) and Outdoor Effective Temperature (OUT_SET*)*

La nuova temperatura effettiva standard (SET*) è uno sviluppo successivo della temperatura effettiva, definita come la temperatura equivalente di un ambiente isoterma, con RH = 50%, velocità del vento < $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ e temperatura dell'aria uguale alla temperatura media radiante, in cui un soggetto standard per abbigliamento e attività metabolica ha lo stesso stress termico e compie il medesimo sforzo termoregolatorio, che compie nell'ambiente reale. L'indice outdoor introduce la temperatura media radiante come ulteriore variabile indipendente.

Universal Thermal Climate Index (UTCI)

L'Indice termico climatico universale (UTCI), sviluppato dal 1999 da un gruppo di esperti multidisciplinari, è definito come la temperatura dell'aria di riferimento (Temperatura dell'aria pari a MRT, velocità del vento = $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a 10m, umidità relativa = 50% ad una pressione costante di vapore acqueo di 20 hPa e con un tasso metabolico = $135 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) che provoca la stessa resa termica della

condizione reale. Una scala termica di 10 punti esprime la percezione termica da +46 °C (valore di stress per eccessivo calore) a -40 °C (valore di stress per eccessivo freddo) La sensazione di neutralità termica cade in un range di temperature comprese tra 9°C e 26 °C. L'UTCI si basa su un modello multi-nodo dinamico termo-fisiologico validato con dati misurati in numerose zone climatiche. L'equazione base per descrivere il modello è:

$$UTCI(T, MRT, V, pa) = T + Offset(T, MRT, V, pa)$$

I campi di validità delle grandezze ambientali sono:

Temperatura dell'aria da -50°C a +50°C;

Temperatura media radiante, da 30°C al di sotto della temperatura dell'aria fino a 70°C oltre;

Velocità del vento ad un'altezza di 10 m dal suolo, da 0.5 a 17 m·s⁻¹;

Pressione di vapor d'acqua in hPa, range di validità fino a 50 hPa o al 100% di umidità relativa.

L'isolamento del vestiario viene automaticamente calcolato in funzione della temperatura effettiva dell'aria e della velocità del vento, utilizzando un modello di abbigliamento adattativo. UTCI è un modello internazionale in grado di quantificare il comfort umano esterno per tutti i climi.

Actual Sensation Vote (ASV)

Il voto di sensazione attuale è espresso mediante un'equazione lineare basata su monitoraggi e questionari per diverse città europee; fattori ambientali (temperatura dell'aria, radiazione globale, velocità del vento e umidità relativa) sono moltiplicati da un coefficiente numerico che varia a seconda del clima. L'equazione per Friburgo, Svizzera, ad esempio, è la seguente:

$$ASV = 0,068 T + 0,0006 G - 0,107V - 0,002RH - 0,69$$

Tutti i valori si basano su dati meteorologici orari.

Thermal Sensation (TS)

La sensazione termica è un indice sviluppato in funzione della temperatura dell'aria, la velocità vento, l'umidità relativa, la radiazione solare orizzontale, la temperatura del suolo e stimando l'impatto sulla percezione termica dei soggetti in funzione della località. L'equazione e la scala di sensazione sono

quindi diverse per ogni luogo, in cui l'indice è stato applicato (Hong Kong, Singapore, Tailandia, Giappone e Israele). Ad esempio, a sensazione termica per inverno ed estate ad Hong Kong è:

$$TSV = (a \cdot T) + (b \cdot G) + (c \cdot V) + (d \cdot RH) + e$$

Per la città di Wuhan:

$$a = 0.0643$$

$$b = 0.00076$$

$$c = -0.161$$

$$d = -0.00376$$

$$e = 1.382$$

Global Outdoor Comfort Index

L'indice globale di comfort esterno (GOCl) è stato fatto derivare da numerose variabili: la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante, l'umidità relativa, la velocità del vento, la latitudine, la temperatura media annuale, la temperatura media del mese più caldo, la temperatura media del mese più freddo e l'altitudine. Per definire un indice unico sono state combinate le relazioni empiriche degli studi effettuati in differenti parti del mondo. La relazione generale è:

$$GOCl = -1.601 + 0.054 \cdot MRT + 0.089 \cdot T + 0.006 \cdot RH - 0.233 \cdot V + 0.110 \cdot TAV - 0.147 \cdot TM - 0.013 \cdot Tm + 0.009 \cdot L$$

Mediterranean Outdoor Comfort Index

È la versione mediterranea (da cui M) dell'indice procedente, che meglio si adattata alla valutazione del comfort termico nelle aree della categoria Cs, secondo la classificazione climatica di Köppen-Geiger [28]. L'equazione di riferimento è:

$$MOCI^* = -3.64 - 0.273 \cdot V + 0.005 \cdot RH + 0.086 \cdot MRT + 0.044 \cdot T$$

Apparent Temperature (AT)

La temperatura apparente è una scala di valutazione che fa riferimento a tre differenti contesti: interno, all'ombra o esposto al sole. L'equazione usata dall'Ufficio Australiano Di Meteorologia è:

$$AT = T + 0.348 e^{-0.7 V} + \frac{0.70 Q}{V+10} - 4.25$$

Discomfort Index (DI)

L'indice di discomfort ambisce a definire le condizioni di comfort termico in funzione di due soli parametri, secondo la relazione:

$$DI = T - 0.55 (1 - 0.55 RH)(T - 14.5)$$

Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT)

L'indice di bulbo umido globo temperatura (WBGT) nasce per individuare i livelli di rischio nei campi di addestramento militare, ed è successivamente riconosciuto come standard internazionale (ISO 7243:1989). WBGT si basa su 3 misure simultanee di temperatura: globo (T_g), bulbo secco (T) e umido (T_w). L'espressione generale è la seguente:

$$WBGT = 0.7 * TW + 0.2 Tg + 0.1 T$$

I risultati ottenuti da WBGT devono essere inseriti nelle tavole della norma ISO 7243 in funzione dell'attività metabolica, per determinare la zona di comfort outdoor.

Environmental Stress Index (ESI)

L'indice di stress termico (ESI) deriva dal precedente con l'intenzione di focalizzarlo per i climi caldo-secchi ed è stato usato principalmente dalle installazioni militari. L'indice si calcola a partire dai dati misurati con la formula seguente:

$$ESI = 0.63 T - 0.03 RH + 0.02 G + 0.05 + 0.054 (T \cdot RH) - 0.073 (0.1 + G)^{-1}$$

Il modello è stato testato con monitoraggi in Israele e Nuova Zelanda, risultando altamente correlato con il WBGT, $R^2 = 0.95$ e 0.97 rispettivamente.

Effective Temperature (ET)

La temperatura effettiva è un indice funzione della temperatura dell'aria, velocità del vento, umidità relativa e si adatta all'analisi del comfort termico in ambienti caldi e freddi:

$$NET(o ET) = 37 - \frac{37-T}{0.68-0.0014RH+\frac{1}{1.76+1.4V^{0.75}}} - 0.29T(1-0.01RH)$$

Heat Index (HI)

L'indice di calore è espresso in funzione delle sole temperature e umidità relativa dell'aria, attraverso la formula seguente:

$$HI = -8.784695 + 1.61139411 \cdot T + 2.338549 \cdot RH - 0.14611605 \cdot T \cdot RH - 1.2308094 \cdot 10^{-10} - 102 - 1.6424828 \cdot 10^{-2} \cdot RH^2 + (2.211732 \cdot 10^{-3}) \cdot (T^2) \cdot RH + 7.2546 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot RH^2 - (3.582 \cdot 10^{-6}) \cdot T^2 \cdot RH^2$$

Il campo di applicazione parte dai 27°C e 405 di umidità. Il modello è utilizzato dal "National Oceanic and Atmospheric Administration".

Cooling power index (PE)

L'indice del potere di raffrescamento esprime la dipendenza del comfort umano dalla temperatura dell'aria e dalla velocità del vento:

$$PE = (20.52 \cdot V^{0.42}) \cdot (36.5-T)$$

Essendo PE espresso in kcal/m²h). La sensazione termica è definita da una scala a 6 punti, da caldo (< 5) a freddo estremo (>30).

Relative strain index (RSI)

Indice di sforzo relativo è un modello semplificato per determinare il comfort termico di un soggetto standard (attività metabolica = 100 W·m⁻² e abbigliamento formale) in condizioni ambientali specifiche (velocità del vento pari a 1 m·s⁻¹ e nessuna radiazione solare diretta. L'espressione è la seguente:

$$RSI = \frac{T - 21}{58 - e}$$

La scala di sensazione RSI varia da 0.1 (in cui la popolazione intera è in condizione di comfort) a 0,5 (discomfort).

2.3.2 Sul potenziale di mitigazione dei sistemi evaporativi

L'elemento acqua è da sempre parte delle strategie di raffrescamento degli spazi urbani. Nella maggior parte degli studi volti specificamente all'effetto di isola di calore urbana, il "mitigatore blu" è un corpo acquoso di elevata massa termica (mare, lago, fiume ...). Queste vaste formazioni naturali sono, tuttavia, prerogativa di poche località cittadine nel mondo. Diversi studi concordano sul fatto che la presenza di multiple installazioni artificiali, anche di piccola scala, tendono ad avere un impatto di raffrescamento localmente più intenso e spazialmente più distribuito di una singola, ampia sorgente [29-31]. Queste micro-installazioni possono essere progettate in considerazione dei venti dominanti e delle sinergie con altri processi evaporativi, in modo tale da massimizzarne la performance ed ottimizzarne l'utilità sul territorio.

In particolare, sia che si guardi unicamente alla riduzione locale di temperatura, sia che si consideri l'intera sfera del comfort, la nebulizzazione si propone come uno strumento ad elevato potenziale di mitigazione e scarsissimo utilizzo di risorse (sia elettriche che idriche). Oltretutto, la sua azione non si limita ad una modificazione dello stato termoigrometrico del volume di aria perturbato, ma contempla anche ad un effetto attenuante della radiazione solare [32], di abbattimento delle polveri [33] e di allontanamento degli insetti, tutti fattori che contribuiscono alla generazione di piacevoli spazi di vita urbana, specialmente laddove il rischio di surriscaldamento ed elevato inquinamento risulta maggiore.

Come emerge da recenti review [34, 35] queste soluzioni si stanno affermando in diverse regioni del mondo, con risultati particolarmente evidenti in presenza di climi caldi e secchi, ma con efficacia locale comprovata anche in ambienti umidi [35]. L'interesse è emerso anche da parte di paesi con clima fresco o temperato come Inghilterra e Germania che si trovano a dover fronteggiare una crescente frequenza e intensità di eventi ad elevato stress termico come le ondate di calore con un'infrastruttura sostanzialmente inadeguata. La nebulizzazione, per la sua capacità di essere controllabile nella sua attuazione, si propone come un'ottima misura di mitigazione all'interno di innovative strategie urbane per questi paesi, senza andare ad inasprire i consumi invernali.

Da letteratura sperimentale, il raffrescamento locale indotto da un sistema di nebulizzazione può variare da pochi gradi (1-2°C) finanche oltre i 15°C [35]. La media si attesta sui 7-8°C, fortemente dipendente dal tipo di impianto realizzato, dal microclima locale e dal tipo di spazio raffrescato (esterno aperto, esterno semichiuso ed interno). Aumenti medi di umidità relativa nell'ordine del 20% sono

generalmente attesi. Per tali motivi, si suggerisce di azionare tali sistemi per temperature sopra i 30°C circa e umidità relativa non oltre il 70% [35].

Diverse tecnologie e configurazioni sono riportate in letteratura.

Un parametro fondamentale per la valutazione dell'efficacia di vaporizzazione è la distribuzione di diametro delle particelle, che a sua volta è dettata dal design degli ugelli e dalle condizioni operative della pompa. L'obiettivo è raggiungere un passaggio di fase flash, motivo per cui diametri di orifizio più piccoli e pressioni più elevate sono generalmente preferite [35]. Come raccomandazione generale, la dimensione media delle particelle (diametro) non dovrebbe eccedere i 40 μm [36] e la pressione dovrebbe essere superiore ai 30 bar (ancor meglio intorno ai 50-70 bar per quanto più dispendioso energeticamente) anche se indicazioni precise sono manchevoli nel panorama scientifico attuale.

Quanto al layout, la nebulizzazione degli spazi esterni, volta alla massimizzazione del comfort, prevede una distribuzione verticale degli ugelli in filari, in matrici o in distribuzioni radiali. Questo consente di regolare l'altezza degli iniettori in modo da investire il soggetto in una regione immediatamente sottostante il massimo di raffrescamento, in modo da garantire sia efficacia che assenza di bagnamento. Il collocamento deve avvenire anche in considerazione della posizione media del soggetto interessato (seduto se rivolto a ristoranti o zone di ristoro, in piedi se installati in piazza o in parchi). L'altezza media degli ugelli, da letteratura, si attesta sui 2.7 m. Non mancano studi su strutture orizzontali, avvolte attorno a colonne o rotazionali (montando gli ugelli lungo il perimetro di un ventilatore) per ragioni sia di spazio, che di design che di efficacia in zone ventilate.

Il vento è di fatto un parametro pivot nel processo di nebulizzazione in spazi esterni: una brezza di circa 1 m/s, scarsamente tempo-variante si propone come condizione di utilizzo ottimale. Il tetto massimo oltre cui non ha più senso fare nebulizzazione è stato posto intorno ai 3 m/s [35].

Normalmente i sistemi di nebulizzazione vengono venduti con un controllo integrato di natura continua o, al massimo, on-off (tempi settabili, in genere da pochi secondi a pochi minuti per l'iniezione, seguiti da una fase di stop leggermente più lunga) [35]. Uno studio, condotto dall'UNIVPM in collaborazione con ENEA, ha investigato il vantaggio energetico ed economico di una logica di controllo più fine (fuzzy) capace di ponderare l'azione di nebulizzazione sulle condizioni ambientali istantanee di temperatura, umidità relativa, radiazione solare, vento e pioggia, ottenendo risparmi fin oltre il 60% [37] ed importanti benefit anche a livello di comfort [38].

Esistono anche altre configurazioni innovative, recentemente proposte dalla comunità scientifica. Alcuni studi suggeriscono il montaggio dei nebulizzatori a bordo di mezzi di trasporto pubblico per ampliare il raggio di azione e consentire di raggiungere zone di difficile installazione [39], altri nelle vicinanze delle unità di condizionamento dell'aria per incrementarne le prestazioni [40].

Di particolare interesse è lo sviluppo di soluzioni *self-sustained* ad energia rinnovabile (fotovoltaico). Una prima dimostrazione del principio e del setup risale al 2013, in Arabia Saudita [41]. In ambiente caldo ed arido, il prototipo proposto raggiunge riduzioni di temperatura di 10-15 °C, con aumenti di umidità tra il 5 ed il 26 %. L'efficacia (in termini di EER) si attesta sui 128.4 con un COP di 37.7 ed un ROI di circa 2 anni e mezzo. Un secondo prototipo basato sul fotovoltaico è stato proposto in Turchia nel 2015 [42]: anche qui si raggiunge un raffrescamento intorno ai 15-20 °C con incrementi di umidità del 20-25 % (COP di 18.8, EER di 64.15 e ROI di 3.7 anni). Nuovamente nel 2016, in India, un setup simile fu proposto [43] come anche nel 2019 in Italia, nell'ambito dello stesso studio UNIVPM-ENEA precedentemente menzionato [37]. In quest'ultima pubblicazione, si sottolinea come una gestione razionalizzata della nebulizzazione, ottenibile tramite logiche smart di controllo, possa essere chiave per un'operazione ad energia quasi zero anche di sistemi ad alta pressione.

Nonostante l'elevatissimo potenziale di mitigazione, le tecnologie di nebulizzazione soffrono di una pesante penalizzazione dovuta allo scarso e disaggregato interesse della comunità scientifica ed ingegneristica nel definire linee guida per una corretta progettazione (assenza di protocolli di misura standardizzati, assenza di metriche prestazionali specifiche e condivisibili, assenza di studi parametrici su diverse variabili di controllo, assenza di correlazione tra diversi fonti evaporative come il verde urbano...) [35]. Ulteriori studi permetteranno di raffinare ed infittire la raccolta di dati per giungere ad un utilizzo ottimizzato e consapevole di tale tecnologia.

2.3.3 Sulla integrazione architettonica e funzionale a scala urbana

Sistemi di raffrescamento evaporativo outdoor sono utilizzati in applicazioni reali da alcuni decenni ma, storicamente, l'implementazione era focalizzata sugli aspetti estetici e di design, con elementi simbolici, visivi e acustici, relegando gli aspetti di mitigazione e raffrescamento ai benefici di tipo indiretto. È soltanto recentemente che sistemi di questo tipo sono progettati con l'obiettivo specifico di mitigare termicamente gli spazi esterni, sebbene forme primitive di questa tecnologia siano note da secoli, in combinazione con sistemi convettivi per sfruttare la ventilazione, come le torri del vento e Qanats in Iran, oppure con l'utilizzo dei vasi porosi all'acqua combinati con Mashrabiya e altre aperture negli involucri edilizi per raffrescare gli edifici.

Una delle prime applicazioni di tecnologia evaporativa è l'Uchimizu, sviluppata in Giappone nel diciassettesimo secolo, che aveva obiettivi di igiene pubblica, ma anche di accompagnamento a pratiche rituali e contemplative; in estate questa applicazione aggiungeva il vantaggio di raffrescare l'ambiente circostante e ridurre la polvere in sospensione. A partire dal diciannovesimo secolo, sistemi evaporativi sono stati largamente impiegati in spazi pubblici, con approcci essenzialmente di design focalizzati sulla rigenerazione di spazi urbani, con elementi architettonici verticali atti ad occupare un ruolo centrale nella formalizzazione dello spazio. Tuttavia, come visto al paragrafo precedente, aumentando l'interesse per la progettazione sostenibile degli spazi urbani, recentemente è aumentato anche il numero di applicazioni in grado di combinare i principi di progettazione plastica con specifici obiettivi di raffrescamento urbano. Una serie di interventi di raffrescamento evaporativo in progetti, che ambiscono ad integrare avanzate soluzioni tecnologiche con elevata valenza estetica sono analizzati in [44, 45].

Il padiglione della Pepsi Cola all'Esposizione universale del 1970 a Osaka, in Giappone (Figura 15), è stato uno dei primi esempi di progettazione dello spazio urbano con applicazione di strategie evaporative, basate su sistemi ad acqua nebulizzata che, al prevalente impatto estetico e architettonico, affiancavano soluzioni in grado di migliorare le condizioni di comfort. Il progetto è stato elaborato dall'artista giapponese Fujiko Nakaya insieme agli ingegneri del gruppo *Experiments in Art and Technology*, questi ultimi hanno realizzato la copertura di una struttura in cloruro di polivinile bianco con uno strato permanente di acqua nebulizzata. La nebulizzazione era ottenuta da oltre 2500 ugelli, con portata in massa di 40 tonnellate per ora, in grado di aumentare l'umidità dell'aria circostante e, quindi, raffrescarla.



Figura 15. Vista del Padiglione Pepsi Cola con sistema di nebulizzazione dell'acqua realizzato per l'esposizione del 1970 a Osaka, Giappone. © Takeyoshi Tanuma

L'utilizzo di acqua naturale e nebulizzata è stata la principale strategia per migliorare il comfort termico negli spazi dell'Esposizione universale del 1992 di Siviglia, in Spagna. Le soluzioni adottate includevano: grandi fontane e specchia d'acqua posizionati in tutte le aree espositive, e lungo percorsi e piazze; cascate d'acqua cadevano da muri per aumentare il volume di acqua evaporata; continui getti di acqua nebulizzata; micro-ugelli integrati negli alberi, nelle strutture e nei numerosi tetti verdi, realizzati a mo' di schermatura solare urbana. Una delle principali attrazione era la cosiddetta "sfera bioclimatica", una sfera cava posizionata al centro di uno dei principali viali dell'area dell'Esposizione, circondata a fontane e specchi d'acqua; va però ricordato che il contributo di mitigazione per gli ospiti è stata praticamente trascurabile a causa della mancanza di controllo e gestione dei flussi di acqua nebulizzata, che veniva "sparata" dagli ugelli in tutte le direzioni, come osservabile in Figura 16. Migliori risultati si sono conseguiti, allorchè le blue-strategies si sono combinate con altre soluzioni bioclimatiche: corretta esposizione alla radiazione solare, schermature ed esposizione al vento. Altra criticità emersa dall'esperienza ha guardato il fatto che, mentre i sistemi evaporativi hanno migliorato in generale la qualità termica degli spazi, lo stesso non è accaduto per gli specchi d'acqua, nei quali, essendo quest'ultima immobile, l'effetto è stato semplicemente di stagnazione e spreco di risorsa idrica [46].



Figura 16. La sfera bioclimatica, realizzata per l'Esposizione Universale del 1992 a Siviglia, Spagna. ©Raquel López de Sebastián

Un altro esempio di applicazione di sistemi di raffrescamento evaporativo a scala urbana di alta valenza architettonica è il progetto Miroir d'Eau (Specchio d'Acqua) realizzato da Michel Corajoud, Pierre Ganger e Jean-Max Llorca a Bordeaux, in Francia nel 2006. La zona dell'intervento è una piazza delimitata dallo storico Palazzo della Borsa e di fronte alla Garonna, che doveva fungere da centro emblematico di un vasto piano di riqualificazione e sviluppo urbano, successivo allo smantellamento di preesistenti insediamenti industriali lungo la banchina del fiume [47]. Obiettivo del piano è stata la creazione di spazi aperti, parcheggi e un nuovo sistema di trasporto pubblico. La superficie dell'intervento è di circa 3500m² con 900 ugelli, annegati nelle lastre di granito della pavimentazione, che liberano acqua in due modi: alti getti di acqua con basso tasso di evaporazione e nubi di acqua ad elevato tasso di nebulizzazione, in grado di conseguire un notevole effetto di raffrescamento, si veda la Figura 17. Al fine di evitare lo sviluppo di efflorescenze e limitare lo spreco di acqua, la stessa, dopo avere temporaneamente allagato lo spazio, doveva essere incanalata sotto la pavimentazione lasciando la superficie asciutta in poco tempo. L'obiettivo è stato raggiunto attraverso aperture tra le lastre di granito che consentivano all'acqua di drenare ed essere nuovamente raccolta in un serbatoio da 800 metri cubi, ed essere nuovamente pompata all'esterno per il successivo ciclo di nebulizzazione.



Figura 17. Applicazione di un sistema evaporativo urbano a Bordeaux, Francia. ©JML

Un progetto più recente è stata la riqualificazione di Place de la Republique a Parigi, in Francia, ad opera di TVK nel 2013. Il concetto di base è, in questo caso, la realizzazione di una scena panoramica aperta con molteplici usi in ambito urbano, vedi Figura 18. Durante la calda stagione estiva, è prodotto un sottile velo di acqua sopra una pavimentazione con una superficie di 270m² e pendenza dell'uno per cento, che include anche la nebulizzazione dell'acqua con ugelli. A questo si aggiunge, nel centro dell'ampia zona pedonale, un bacino riempito d'acqua grazie a piccoli spillamenti puntuali, che garantiscono raffrescamento per evaporazione e comfort acustico, generando un piccolo e piacevole rumore di sottofondo. Secondo gli architetti la nebulizzazione ha un cruciale rilievo microclimatico, coniugando aspetti quali la socialità, lo svago e sottolineando la funzione simbolica del concetto di piazza. Va anche notato, che il progetto ha incluso altri aspetti di sostenibilità: l'utilizzo di pavimentazioni riflettenti, per minimizzare l'assorbimento e il rilascio del calore, nonché l'utilizzo di verde per schermare la radiazione solare, mitigare la temperatura attraverso l'evapotraspirazione e migliorare la qualità ambientale [48].



Figura 18. Place de la République a Parigi, Francia. © Clement Guillaume

Ecosistema Urbano è una installazione realizzata nell'ambito del progetto Vallecas Ecoboulevard a Madrid, in Spagna, e che ha fatto largo uso di sistemi di raffrescamento evaporativo. L'elemento principale era l'albero d'aria (*air tree*), una struttura cilindrica di acciaio autoportante, e tre di questi oggetti sono stati dislocati lungo il viale, con l'obiettivo di rispondere allo sviluppo urbano della città che poco si curava della qualità ambientale e sociale; al tempo stesso gli oggetti avevano il ruolo cruciale di mitigare le torride estati madrilene, seppure nel contesto limitato dell'applicazione medesima. Piante rampicanti e nebulizzatori sono montati lungo la superficie del cilindro, orientati verso lo spazio circolare al di sotto, e quindi utilizzati come elementi di raffrescamento, come si può evincere dal dettaglio della Figura 19. Una corona di pannelli fotovoltaici, sensori anemometrici e atomizzatori hanno reso possibile la modulazione del flusso e la pressione dell'acqua nei tubi che alimentavano gli ugelli, in modo da avere un flusso adattato alle condizioni ambientali. L'idea del cilindro come elemento di protezione, esaltato dalla presenza delle pareti verdi, ha favorito la creazione di questi veri e propri "salotti pubblici", ma anche l'ottimizzazione del sistema di raffrescamento, dal momento che l'aria raffrescata è trattenuta all'interno e non immediatamente dispersa all'esterno [49].

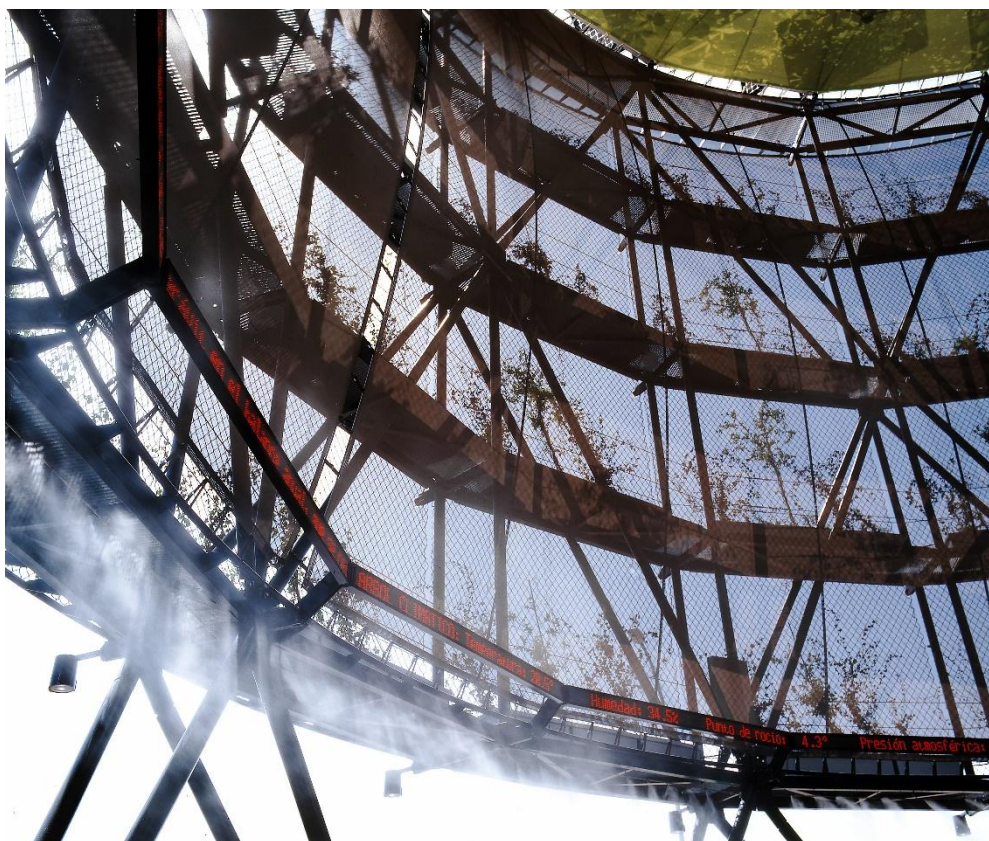


Figura 19. Albero d'aria, Ecobulevard © Ecosistema Urbano

Applicazioni recenti hanno il tema del comfort termico, e quindi delle strategie di mitigazione, come elemento centrale nella elaborazione dell'idea progettuale. Un caso esemplare è il progetto di Piazza Omonia ad Atene, in Grecia, elaborato da OKRA e parte della proposta Re-Think Athens, vincitrice di una competizione per la rivitalizzazione e la rigenerazione del centro città della capitale greca. La piazza diventa, nella proposta uno spazio dedicato ai pedoni ed una serie di azioni atte a migliorare la qualità termica sono identificate, una di queste è la presenza di una fontana ad acqua nebulizzata, particolarmente performante nel clima caldo e secco della città. Monitoraggi sul campo hanno infatti evidenziato che a fronte di una temperatura a bulbo secco che sfiorava 40°C, la pressione di vapore rimaneva intorno al 30%. Simulazioni al computer hanno dimostrato che il sistema evaporativo avrebbe consentito una riduzione della temperatura superficiale a 23°C. Come in altri progetti, il tema della mitigazione includeva l'uso estensivo del verde urbano: erba, siepi, piante rampicanti e alberi, soluzioni derivanti da un approccio sistemico alla progettazione microclimatica (*heat mitigation toolbox*) [50].

Un tema cruciale però è risultato essere quello dell'accumulo e lo stoccaggio di acqua per alimentare il sistema evaporativo e il verde urbano, anche esso parte del progetto; tema particolarmente critico visti i periodi di siccità della regione durante la stagione estiva.

Un approccio simile è stato seguito nel progetto PROAP, risultato vincitore di una competizione per la rigenerazione di Piazza Khan Antoun Bey a Beirut, in Libano. In questo caso, ai sistemi di nebulizzazione e al verde urbano si sono aggiunti quelli di schermature e canopie urbane per il controllo solare, e i materiali a queste collegati. Il progetto è stato anche occasione per verificare l'effettiva capacità di questi sistemi di controllare e modulare la temperatura dell'aria in presenza di sistemi evaporativi, evidenziando anche criticità, come problema del sovraccarico di umidità dell'aria trattata [44].

2.3.4 Sull'autosufficienza energetica dei sistemi evaporativi

L'autosufficienza delle risorse utilizzate per il funzionamento di sistemi evaporativi urbani è un punto cruciale per la loro sostenibilità. Al momento non esistono studi in grado di fornire dettagli sugli aspetti idrici, mentre una sola ricerca verte sugli usi energetici senza però essere sufficientemente dettagliata per derivarne considerazioni di carattere generale [41]. Per quanto riguarda questo aspetto, essendo l'uso energetico legato ai consumi elettrici per attivare la pompa e altri piccoli carichi, è inevitabile il ricorso a sistemi fotovoltaici per la generazione e l'utilizzo sul posto. Il tema sarà approfondito nelle successive annualità con osservazioni sperimentali e analisi numeriche; nella presente sono eseguite analisi preliminari, sulla base dell'attività sperimentale condotta da ENEA.

Il caso studio teorico ipotizzato come riferimento è consistito di un sistema di 24 ugelli (6x4m circa), che corrisponde ad un'area raffrescata di circa 43m², ipotizzando che 50cm oltre la griglia beneficino dell'azione raffrescante degli ugelli periferici, e da una pompa a portata costante con assorbimento allo spunto da 920W e 600W in (tale pompa è in grado di alimentare un sistema analogo fino a 40 ugelli) e un orario di servizio di 10 ore giornaliere: 10.00-20.00. Una prima valutazione di fondo è legata in prima istanza all'osservazione che fenomeni di surriscaldamento urbano in estate hanno luogo in giornate nuvolose, con livelli più bassi di irradiazione solare, ed è quindi importante valutare il trade-off tra un campo fotovoltaico sufficientemente esteso e l'installazione di batterie di accumulo da utilizzare per alimentare l'impianto per periodi limitati.

Sì è così ipotizzato un impianto fotovoltaico costituito da una serie di pannelli, un controllo automatico per ripartire la produzione tra alimentazione diretta della pompa e carica delle batterie di accumulo, un inverter AC/DC che alimenta la pompa con voltaggio da 230V. Lo schema complessivo del progetto è riportato in Figura 20 e i dati climatici di riferimento sono quelli di irradiazione solare media della città di Roma, di cui si riporta un profilo esemplificativo di irradiazione globale orizzontale di una settimana di luglio in Figura 21.

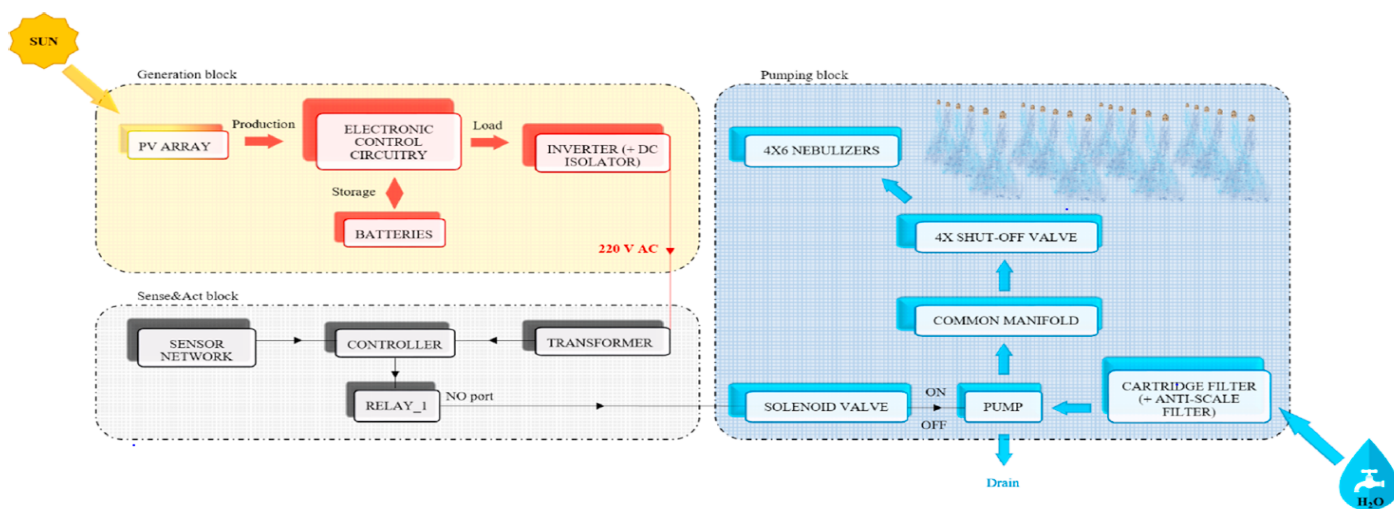


Figura 20. Schema a blocchi del sistema evaporativo con fotovoltaico integrato [37]

In base a criteri semplificati ma condivisi per la progettazione di impianti solari, assumendo un dato standard di eliofania pari a 8 ore per la stagione estiva nel clima considerato e viste le caratteristiche dell'impianto, i risultati sono riassunti in Tabella 5.

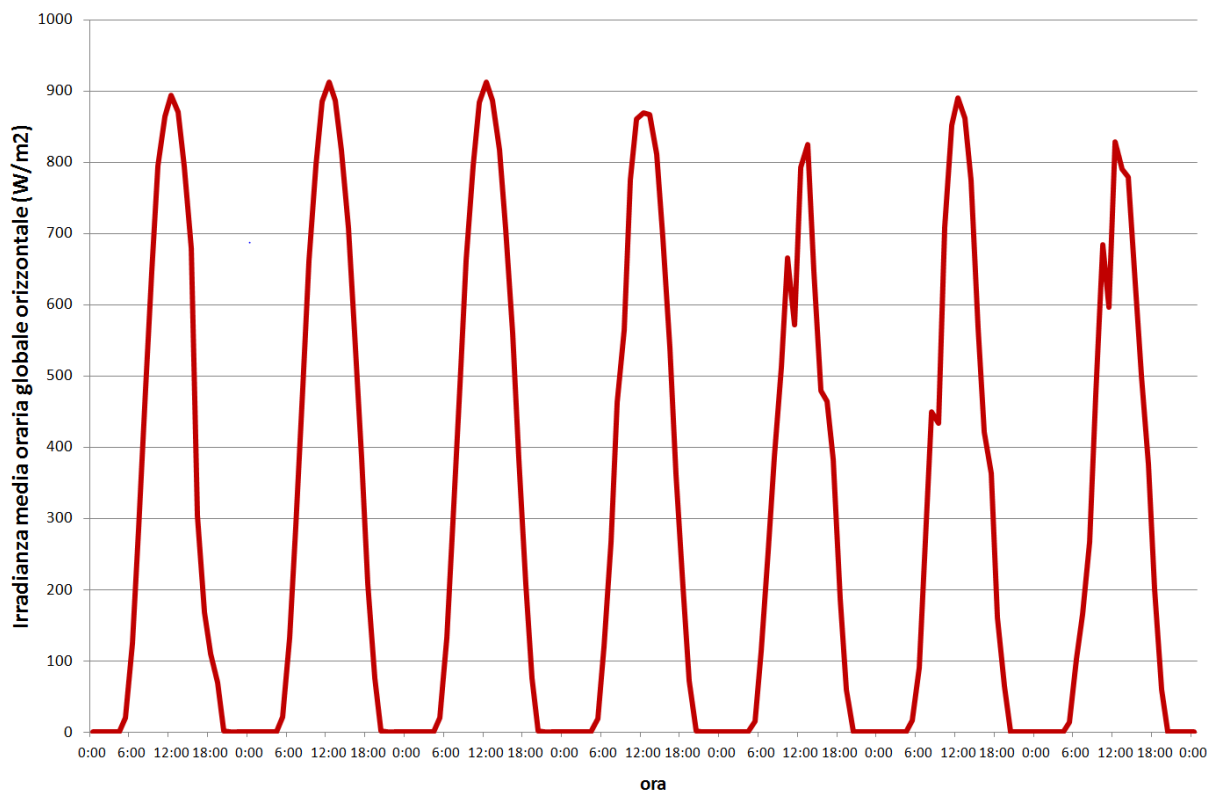


Figura 21. Irradiazione media oraria globale su piano orizzontale a Roma nel periodo 10-16 luglio

La stima è stata eseguita ipotizzando un funzionamento di 10 ore giornaliere e l'ipotesi, molto remota vista la stagione e il clima, che il sistema di accumulo debba coprire 2 interi giorni. A fronte dei fabbisogni indicati, il campo fotovoltaico dovrebbe avere una potenza di picco leggermente superiore al kilowatt e, quindi, un'estensione superficiale inferiore a sette metri quadrati. Facendo riferimento alle dimensioni del caso studio, la densità di potenza di picco richiesta è circa 30W/m² di installazione e un fattore di copertura (area fotovoltaico diviso area dell'installazione) inferiore al 25%. Per quanto riguarda lo stoccaggio, sono necessarie 12 batterie, ma il valore si dimezza ipotizzando un giorno di autonomia anziché due. Ovviamente le dimensioni dell'impianto potrebbero e dovrebbero essere calibrate anche in base ad analisi di fattibilità economica che sono demandate alla prossima annualità.

Tabella 5. Dati impianto fotovoltaico teorico

Elemento di progetto	Valore
Consumo totale giornaliero in AC 230:	8.8 kWh /giorno
Potenza massima in AC 230:	1.1 kW
Potenza impianto fotovoltaico	1.1 kWp
Numero moduli	4 x 250W
Giorni di autonomia	2
Batterie 12V, 200Ah, 70% DoD	12

3 Conclusioni

Alla luce di quanto descritto nel presente Report, la qualità e la sicurezza dei servizi urbani e dei servizi ivi presenti (sistema elettrico, rete stradale, edificato altre reti tecnologiche, etc.) rappresentano dei fattori di estrema rilevanza. Una forma più avanzata di monitoraggio e gestione di tutti questi sistemi è stato l'oggetto degli studi e delle analisi condotte in questa prima annualità, tenendo conto i vari ambiti applicativi su cui è stato declinato tale approccio.

La **Smart Road** è una infrastruttura intelligente che permette il dialogo tra i veicoli elettrici e autonomi e la Smart City. In tale dialogo si scambiano dati nelle due direzioni: dal veicolo provengono quelli relativi ai sensori di bordo che possono essere sia propriocettivi, ovvero riguardanti il veicolo in sé, sia esteroceettivi, ovvero riguardanti l'ambiente in cui si muove il veicolo. L'idea di fondo è che i veicoli che viaggiano nella Smart Road operino come sensori mobili per la Smart City fornendo ad essa osservazioni capillari. La Smart City da parte sua aiuta la navigazione dei veicoli fornendo loro eventuali allarmi e condizioni del traffico.

In questa prima annualità di progetto si sono analizzati i requisiti e le specifiche dei tre sotto sistemi in gioco: l'infrastruttura vera e propria, il veicolo e l'operatività generale del sistema.

L'infrastruttura sarà realizzata come una serie di pali per l'illuminazione in grado di colloquiare tramite WiFi con i veicoli ed in grado di regolare l'intensità luminosa al varare delle necessità, nonché di ospitare telecamere per la misurazione dell'ambiente stradale (misura di luce ambientale, meteo, flussi di traffico). Il veicolo individuato è un quadriciclo elettrico modificato per il cosiddetto *drive-by-wire*, ovvero il controllo dei parametri di guida da parte di un calcolatore. Esso, nel corso della seconda annualità, sarà reso autonomo ed in grado di colloquiare con la Smart Road. Il veicolo ospiterà a bordo una serie di sensori utili alla realizzazione della guida autonoma quali telecamere e sensore laser (Lidar) e sensori dedicati alla misurazione ambientale quali una centralina per gli inquinanti e un sensore di stato del manto stradale.

Nella parte riguardante l'operatività del sistema sono stati definiti tutti i possibili dati che il veicolo deve scambiare tramite l'infrastruttura stradale con il cervello del sistema, rappresentato dal CIPCast-ER che si occuperà di registrare i dati e di compiere alcune elaborazioni utili alla marcia in sicurezza del veicolo, alla gestione e pianificazione della Smart City e ad un più efficace utilizzo del sistema di distribuzione elettrica per la ricarica o l'uso in V2G (*Vehicle to Grid*) dei veicoli.

Nel corso delle attività è stato altresì individuato un sito di prova nel Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA dove installare l'infrastruttura intelligente e dove saranno compiuti i test operativi.

Nel corso della prossima annualità la Smart Road sarà messa in opera tramite l'installazione di pali dotati di corpi illuminanti e di capacità di trasmissione (hot spot WiFi) ed anche dotati di sensori propri (telecamere). Si procederà all'acquisizione del quadriciclo elettrico e a renderlo in grado di navigare in modo autonomo. Si metteranno a punto i sensori del veicolo.

Nello spirito del summenzionato approccio, è stato definito e progettato un nuovo sviluppo della Piattaforma DSS CIPCast, denominato **CIPCast-ER** ed espressamente finalizzato al monitoraggio ed alla valutazione del rischio delle infrastrutture viarie ed elettriche in ambito urbano, visti come un sistema integrato e connesso. CIPCast-ER, partendo dai risultati già raggiunti in precedenza (PAR 2015-2017 e PAR 2018) permette la condivisione delle informazioni territoriali ed ambientali dell'area di interesse, il monitoraggio e la sicurezza delle infrastrutture, nonché la loro gestione e la valutazione di scenari di rischio. Esso è basato sulla disponibilità (acquisizione, integrazione ed elaborazione) di una serie di elementi: a) dati dal campo, dati geografici ed informazioni territoriali, dati acquisiti da soggetti terzi, etc.; b) strumenti ed architetture per l'analisi di tali dati (sia in real-time che in modalità asincrona) e per l'archiviazione; c) sistemi di analisi ed elaborazione; d) front-end geografico interattivo (di tipo WebGIS) per il supporto decisionale.

Nel corso della presente annualità sono state definite le nuove funzionalità da implementare, è stato definito lo schema concettuale, focalizzandosi sulla gestione efficiente dei dati (Data Model e GeoDatabase) e sulla architettura software. Particolare attenzione è stata rivolta all'interazione con gli altri ambiti applicativi (Smart Roads e Smart Cool Place), attraverso la definizione di casi d'uso e di specifici requisiti funzionali.

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri di CIPCast-ER, nel corso delle prossime annualità verranno implementate e testate le funzionalità progettate e definite (sulla base dei suddetti casi d'uso e requisiti funzionali) e la base di dati sarà incrementata mediante l'integrazione di ulteriori dati provenienti dal monitoraggio ambientale e relativi agli altri ambiti applicativi. L'obiettivo sarà quello di pervenire alla definizione di uno strumento a supporto di una migliore gestione dei servizi e dei sistemi nelle aree urbane da parte degli utenti finali, con particolare riguardo alle infrastrutture elettriche e stradali.

Infine, è opportuno segnalare che lo sviluppo ulteriore della piattaforma CIPCast, delle sue applicazioni e dei suoi servizi potrà avvalersi anche del supporto dell'iniziativa EISAC.it³ (*European Infrastructure Simulation and Analysis Centre*), il primo nodo di una costellazione di centri di competenza che stanno sorgendo in Europa per la sicurezza delle infrastrutture strategiche, nato in Italia grazie a un Accordo di Programma tra ENEA e INGV.

Infine, per quanto riguarda le attività ricadenti nell'ambito applicativo **Smart Cool Place**, gli studi preliminari condotti nella prima annualità hanno evidenziato che il tema del raffrescamento evaporativo attraverso nebulizzazione dell'acqua non gode a tutt'oggi di un solido background scientifico. La tecnologia è utilizzata in modo spiccio in attività commerciali o rientra in grandi progetti di rigenerazione/creazione di spazi urbani, in entrambi i casi gli aspetti relativi alla sostenibilità energetica e alla quantificazione del benessere termico degli utenti sono scarsamente considerati. Solo

³ <http://www.eisac.it/>

recentemente in alcuni progetti il tema è diventato centrale, ma trattato semplicemente in modo qualitativo.

Per contro esistono diversi studi e progetti a carattere scientifico, che hanno mirato alla quantificazione del potenziale di raffrescamento (inteso essenzialmente come riduzione della temperatura dell'aria all'interno dell'installazione rispetto a quella esterna), evidenziando importanti potenzialità, anche superiori a 10°C in alcune zone climatiche. In realtà i risultati molto dipendono dall'intensità specifica del sistema di nebulizzazione e, di conseguenza, con notevoli differenze in termini di consumo elettrico. Un test condotto in Italia, ha evidenziato consumi moderati con potenziale di raffrescamento di picco di oltre 6°C.

La razionalizzazione del consumo energetico, mirata all'autosufficienza, è però condizionata all'individuazione di opportuni sistemi e strategie di controllo, al fine di utilizzare ed attivare l'impianto solo quando necessario. Da questo punto di vista è cruciale l'individuazione di metriche adeguate alla stima del comfort termico, e l'analisi preliminare condotta ha evidenziato l'esistenza di molti indicatori di comfort termico outdoor, soggetti a numerose variabili fisiche e spesso dipendenza climatica. La complessità del fenomeno da rappresentare ha fatto sì che, ad oggi, non ne esista uno accettato universalmente; tuttavia, a causa, della sinteticità dell'indicatore ed in linea con l'orientamento più recente della comunità scientifica, per le gli studi delle future linee di attività sarà utilizzato l'indice UTCI.

4 Riferimenti bibliografici

1. SMART ROAD “La strada all’avanguardia che corre con il progresso”, ANAS S.p.A., Direzione Operation e Coordinamento Territoriale Infrastruttura Tecnologica e Impianti, 2018.
2. Piano Triennale 2019-2021 della Ricerca di Sistema elettrico nazionale (RdS) formulato, ai sensi dell'art. 2 del decreto 16 aprile 2018, dal Ministero dello sviluppo economico, Sezione Tecnica.
3. Decreto Smart Road, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/04/18/18A02619/sg>, consultato il 14/01/2020.
4. Corriere Comunicazioni: Smart Road, <https://www.corrierecomunicazioni.it/tag/smart-road/>, consultato il 14/01/2020.
5. Smart Road “Corridoio Meduri”, <https://www.stradeeautostrade.it/its-smart-road/porto-di-trieste-e-anas-tir-sotto-controllo-con-la-nuova-smart-road/>, consultato il 14/01/2020.
6. Smart Road “eRoadArlanda”, <https://eroadarlanda.se/>, consultato il 14/01/2020.
7. Smart Road “Gotland”, <https://www.smartroadgotland.com/>, consultato il 14/01/2020.
8. <https://it.wikipedia.org/wiki/Autonomia>, consultato il 14/01/2020.
9. <https://driverless.wonderhowto.com/news/definitive-guide-levels-automation-for-driverless-cars-0176009/>, consultato il 14/01/2020.
10. Streetdrone, <https://www.streetdrone.com/>, consultato il 14/01/2020.
11. S. Taraglio, L. Blasi, G. Cupertino, C. Moriconi, V. Nanni, S. De Vito, F. Formisano, G. Zanini, F. Russo, M. Villani e L. Vitali, “Sviluppo di un sistema di monitoraggio aereo per lo smart district”, 2017. RdS/PAR2016/021.
12. Raspberry Pi, https://it.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi, consultato il 14/01/2020.
13. Migliori pratiche in sicurezza stradale - European Commission, https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects_sources/supreme-c_it.pdf, consultato il 14/01/2020.
14. Bengio, Y., LeCun, Y., Hinton, G. (2015). "Deep Learning". Nature. 521 (7553): 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
15. JSON, https://it.wikipedia.org/wiki/JavaScript_Object_Notation, consultato il 14/01/2020.
16. Di Pietro, A., Lavalle, L., La Porta, L., Pollino, M., Tofani, A., Rosato, V.: Design of DSS for Supporting Preparedness to and Management of Anomalous Situations in Complex Scenarios. In: Setola, R., Rosato, V., Kyriakides, E., and Rome, E. (eds.) Managing the Complexity of Critical Infrastructures: A Modelling and Simulation Approach. pp. 195–232. Springer International Publishing, Cham (2016).
17. Giovinazzi, S., Pollino, M., Kongar, I., Rossetto, T., Caiaffa, E., Di Pietro, A., La Porta, L., Rosato, V., Tofani, A.: Towards a Decision Support Tool for Assessing, Managing and Mitigating Seismic Risk of Electric Power Networks. In: Computational Science and Its Applications – ICCSA 2017. ICCSA 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10406. pp. 399–414. Springer, Cham (2017).

18. Matassoni, L., Fiaschi, A., Giovinazzi, S., Pollino, M., La Porta, L., Rosato, V.: A geospatial decision support tool for seismic risk management: Florence (Italy) case study. In: Computational Science and Its Applications - ICCSA 2017. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing (2017).
19. 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.
20. Pollino, M., Modica, G.: Free web mapping tools to characterise landscape dynamics and to favour e-participation. (2013).
21. Pollino, M., Caiaffa, E., Carillo, A., La Porta, L., Sannino, G.: Wave energy potential in the Mediterranean sea: Design and development of DSS-WebGIS "Waves energy." In: Lecture Notes in Computer Science. pp. 495–510. Springer, Cham (2015).
22. Modica, G., Pollino, M., Lanucara, S., La Porta, L., Pellicone, G., Di Fazio, S., Fichera, C.R.: Land suitability evaluation for agro-forestry: Definition of a web-based multi-criteria spatial decision support system (MC-SDSS): Preliminary results. In: Lecture Notes in Computer Science. pp. 399–413. Springer, Cham (2016).
23. Steiniger, S., Hunter, A.J.S.: Free and Open Source GIS Software for Building a Spatial Data Infrastructure. In: Bocher, E. and Neteler, M. (eds.) Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century. pp. 247–261. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2011).
24. Tofani A, Di Pietro A, Lavallo L, Pollino M, R. V: Supporting decision makers in crisis management involving interdependent critical infrastructures. In: The International Emergency Management Society (TIEMS) 2015. TIEMS, Rome (2015)
25. Watanabe, S., Nagano, K., Ishii, J., Horikoshi, T., 2014. Evaluation of outdoor thermal comfort in sunlight, building shade, and pergola shaded during summer in a humid subtropical region. Build.Environ. 82, 556–565.
26. Nagano, K., Horikoshi, T., 2011a. Development of outdoor thermal index indicating universal and separate effects on human thermal comfort. Int. J. Biometeorol. 55, 219–227
27. Höppe, P., 1999. The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int. J. Biometeorol. 43, 71–75
28. Golasi, I., Salata, F., de Lieto Vollaro, E., Coppi, M., de Lieto Vollaro, A., 2016. Thermal perception in the Mediterranean area: Comparing the Mediterranean Outdoor Comfort index (MOCI) to other outdoor thermal comfort indices, Energies, 9 (7), pp. 1 16

29. .K.R. Gunawardena, M.J. Wells, T. Kershaw, Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity, *Sci. Total Environ.* 584–585 (2017) 1040–1055. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.01.158.
30. M. Santamouris, L. Ding, F. Fiorito, P. Oldfield, P. Osmond, R. Paolini, D. Prasad, A. Synnefa, Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects, *Sol. Energy.* 154 (2017) 14–33. doi:10.1016/j.solener.2016.12.006.
31. M. Taleghani, U. Berardi, The effect of pavement characteristics on pedestrians’ thermal comfort in Toronto, *Urban Clim.* 24 (2018) 449–459. doi:10.1016/j.uclim.2017.05.007.
32. L.A. Dombrovsky, V.P. Solovjov, B.W. Webb, Attenuation of solar radiation by a water mist from the ultraviolet to the infrared range, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* 112 (2011) 1182–1190. doi:10.1016/j.jqsrt.2010.08.018.
33. S. Yu, Water spray geoengineering to clean air pollution for mitigating haze in China’s cities, *Environ. Chem. Lett.* 12 (2014) 109–116. doi:10.1007/s10311-013-0444-0.
34. A.S. Nouri, J.P. Costa, M. Santamouris, A. Matzarakis, Approaches to outdoor thermal comfort thresholds through public space design: A review, *Atmosphere (Basel).* 9 (2018). doi:10.3390/atmos9030108.
35. G. Ulpiani, Water mist spray for outdoor cooling: A systematic review of technologies, methods and impacts, *Appl. Energy.* 254 (2019) 113647. doi:10.1016/j.apenergy.2019.113647.
36. C. Huang, J. Cai, Z. Lin, Q. Zhang, Y. Cui, Solving model of temperature and humidity profiles in spray cooling zone, *Build. Environ.* 123 (2017) 189–199. doi:10.1016/j.buildenv.2017.06.043.
37. G. Ulpiani, C. Di Perna, M. Zinzi, Water nebulization to counteract urban overheating : Development and experimental test of a smart logic to maximize energy efficiency and outdoor environmental quality, *Appl. Energy.* 239 (2019) 1091–1113. doi:10.1016/j.apenergy.2019.01.231.
38. G. Ulpiani, E. Di Giuseppe, C. Di Perna, M. D’Orazio, M. Zinzi, Thermal comfort improvement in urban spaces with water spray systems: Field measurements and survey, *Build. Environ.* 156 (2019) 46–61. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.007.
39. M. Kojima, K. Nakashima, S. Management, A Study of Mist Spraying System by Urban Transportation, *Des. Innov. Value Towar. a Sustain. Soc.* Springer, Dordr. (2012) 720–723.
40. D. Narumi, K. Shigematsu, Y. Shimoda, Effect of the Evaporative Cooling Techniques by Spraying Mist Water on Reducing Urban Heat Flux and Saving Energy in Apartment House, *J. Heat Isl. Inst. Int.* 7 (2012) 175–181. <http://heatisland2009.ibl.gov/docs/221000-narumi-doc.pdf>.

41. A. Atieh, S. Al Shariff, Solar energy powering up aerial misting systems for cooling surroundings in Saudi Arabia, *Energy Convers. Manag.* 65 (2013) 670–674. doi:10.1016/j.enconman.2011.10.031.
42. Esen, O. Tuna, Investigation of photovoltaic assisted misting system application for arbor refreshment, *Int. J. Photoenergy*. 2015 (2015). doi:10.1155/2015/748219.
43. S. Joshi, S. Gomekar, S. Pokle, Design of solar powered mist cooling system for a typical semi-outdoor area in Nagpur, (2016).
44. Nunes, J. et al. (2013) Misting-cooling systems for microclimatic control in public space. PROAP Landscape Architects. Lisbon, Portugal. Available at: <http://www.proap.pt/it/852/misting-cooling-systems-for-microclimatic-control-in-public-space/> (Accessed: 1 December 2019).
45. Santos Nouri, A. et al. (2018) 'Approaches to Outdoor Thermal Comfort Thresholds through Public Space Design: A Review', *Atmosphere*, 9(3), p. 108. doi: 10.3390/atmos9030108.
46. Velazquez, R., Alvarez, S. and Guerra, J. (1992) Climatic Control of the Open Spaces in Expo 1992. Seville, Spain: College of Industrial Engineering of Seville.
47. L., D. et al. (2009) On Site. 1 edition. Basel; Boston: Birkhäuser Architecture.
48. Rafaël Magrou (2015) 'Theatre to the world: the transformation of Place the la République, Paris', *Topos*, 21, pp. 62–67.
49. Aurora Fernández Per and Javier Arpa (2008) The public chance: New urban landscapes. Vitoria-Gasteiz: a+t architecture publishers (In common).
50. Martin Knuijt (2013) 'One Step Beyond: Revitalizing the city centre', *Topos*, 85, pp. 60–67.

5 Abbreviazioni ed acronimi

ITS	Intelligent Transportation System
V2V	Vehicle to Vehicle. Trasmissione veicolo – veicolo.
ETA	Estimated Time of Arrival. Tempo stimato di arrivo.
V2G	Vehicle to Grid. Connessione elettrica veicolo – infrastruttura elettrica di distribuzione.
PLC	Power Line Communication. Comunicazione ad onde convogliate su linea elettrica.
V2I	Vehicle to Infrastructure. Trasmissione veicolo – infrastruttura.
VOC	Volatile Organic Compounds. Composti organici volatili.
DNN	Deep Neural Networks. Reti Neurali profonde,
JSON	JavaScript Object Notation
SDI	Spatial Data Infrastructure o Infrastruttura di Dati Territoriali