RdS
RICERCA DI SISTEMA

ENEA
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Ricerca di Sistema elettrico

LA2.19 SMART ROADS: Sviluppo di applicazioni per il monitoraggio della Smart Road e sistemi ricarica elettrica

Sergio Taraglio, Stefano Chiesa, Angelo Cipollini, Giacomo Cupertino, Fabio Marianecci, Vincenzo Nanni, Francesco Pieroni

RdS_PTR 22-24_PR1.7_LA2.19_011

LA2.19 SMART ROADS: Sviluppo di applicazioni per il monitoraggio della smart road e sistemi ricarica elettrica

Sergio Taraglio, Stefano Chiesa, Angelo Cipollini, Giacomo Cupertino, Fabio Marianecci, Vincenzo Nanni, Francesco Pieroni (ENEA)

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: *Decarbonizzazione/Digitalizzazione ed evoluzione delle reti*
Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali
Linea di attività: 2.19
Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA
Responsabile Linea di Attività: Sergio Taraglio, ENEA
Mese inizio previsto: 1
Mese inizio effettivo: 1
Mese fine previsto: 18
Mese fine effettivo: 18

Indice

1 RISULTATI ATTESI 3
2 RISULTATI OTTENUTI 4
3 PRODOTTI ATTESI 5
4 PRODOTTI SVILUPPATI 6
5 ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI 7
6 SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 8
7 DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 9
8 CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE 17
9 PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE 18
10 EVENTI DI DISSEMINAZIONE 19

1 Risultati attesi

Le tematiche di sviluppo della presente Linea di Attività sulla Smart Road sono due: quella relativa agli aspetti propriamente infrastrutturali della Smart Road, con l'integrazione di punti di ricarica (colonnine) e quella relativa allo sviluppo del veicolo elettrico e dei suoi sensori per il monitoraggio urbano.

I risultati attesi sono:

- uno studio dello stato dell'arte dei punti di ricarica con attenzione ai sistemi "wireless" e conseguenti valutazioni;

- la fattibilità e l'integrazione di un sensore che misuri lo stato del manto stradale sulla base delle misurazioni di distanza effettuate tramite un range finder laser (LIDAR).

Gli output consistono in un Report di fine attività che contiene la descrizione delle attività svolte ed i relativi risultati raggiunti nell'ambito della ricerca "Sviluppo di applicazioni per il monitoraggio della Smart Road e sistemi di ricarica elettrica".

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti nella presente linea di attività sono quelli previsti nel capitolato di progetto e in particolare:

- uno studio dello stato dell'arte dei punti di ricarica con attenzione ai sistemi "wireless". Il beneficio per il sistema elettrico nazionale risiede nella comparazione di diverse soluzioni di ricarica per i veicoli elettrici, che possono risultare in un utilizzo più efficiente degli stessi sia in termini di consumi che di tempo legato alla ricarica stessa.

- il prototipo di un sistema per la misurazione delle caratteristiche superficiali del manto stradale basato sulla misurazione laser effettuata da un LIDAR montato sul veicolo elettrico per la navigazione autonoma dello stesso. Tale sensore permette il monitoraggio dello stato del manto stradale per un'opportuna opera di manutenzione che contribuisce ad un migliore ambiente urbano e, in senso più ampio, consumi minori da parte dei veicoli elettrici ivi circolanti.

Oltre ai citati risultati, sono state effettuate ulteriori attività, non previste nel capitolato, che hanno portato ai seguenti risultati:

- Il prototipo di un classificatore di difetti del manto stradale basato su flussi video. Tale prototipo può essere considerato come un'evoluzione di quanto realizzato nel piano triennale precedente, sfruttando un differente approccio algoritmico basato su tecniche di Intelligenza Artificiale, in particolare reti neurali profonde;

- L'aggiornamento hardware e software del veicolo elettrico, con la conseguente caratterizzazione cinematica e dinamica del veicolo.

3 Prodotti attesi

Il prodotto atteso per la Linea di Attività 2.19 è un rapporto tecnico che descrive le attività svolte nella LA, riguardanti uno studio dello stato dell'arte sui punti di ricarica e lo studio di fattibilità di un sistema di misura per lo stato del manto stradale basato su misure di distanza.

4 Prodotti sviluppati

Il prodotto realizzato per la Linea di Attività 2.19, così come pianificato, è il presente rapporto:

"**SMART ROADS: Sviluppo di applicazioni per il monitoraggio della Smart Road e sistemi ricarica elettrica**"

a questo rapporto è allegato un documento che descrive in maggior dettaglio le attività svolte sul veicolo elettrico e sui sensori sviluppati per esso:

"**Sviluppo di applicazioni per il monitoraggio della Smart Road e caratterizzazione del veicolo elettrico**"

I risultati prodotti in questa Linea di Attività sono rappresentati dallo studio di fattibilità e la prima prototipazione di due sistemi di misurazione del manto stradale, uno previsto nel capitolato ed uno non previsto precedentemente. Il primo si basa sulle misure metriche di un sensore laser (un LIDAR), mentre il secondo analizza flussi video con un approccio basato su tecniche di Intelligenza Artificiale.

Ulteriori risultati, non previsti nel capitolato, hanno riguardato l'aggiornamento di alcune componenti del veicolo e la ri-caratterizzazione dello stesso in termini di dinamica e cinematica.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Durante la Linea di Attività 2.19 era prevista, nel capitolato economico, l'acquisizione di colonnine di ricarica per dotarne la Smart Road. A causa di ritardi di carattere amministrativo, tale acquisto non è stato possibile nel presente periodo temporale. Questo scostamento non ha, però, influito sui risultati della Linea di Attività in quanto i risultati previsti non erano direttamente legati alla effettiva presenza delle suddette colonnine di ricarica, ma, in modo più generale, ad uno studio dello stato dell'arte sui sistemi di ricarica per veicoli.

Nessun ulteriore scostamento si è verificato.

6 Sintesi delle attività svolte

Le attività qui descritte sono relative al primo SAL ovvero riguardano i primi 18 mesi (gennaio 2022 – giugno 2023), inquadrabili in due filoni:

- l'infrastruttura propriamente detta con l'analisi dello stato dell'arte sulla ricarica dei veicoli elettrici con attenzione ai sistemi wireless;

- il veicolo elettrico autonomo e lo sviluppo della sua dotazione sensoristica.

Le attività svolte nel corso del periodo sono state:

1. Studio dello stato dell'arte dei sistemi di ricarica dei veicoli elettrici con attenzione su quelli "wireless".

2. Studio di fattibilità di un prototipo di detector di difetti del manto stradale basato sulla misura di distanza raccolta da un LIDAR di navigazione, montato sul veicolo.

3. Studio e realizzazione di un prototipo di classificatore neurale di difetti superficiali del manto stradale basato sull'analisi di flussi video, con tecniche di Intelligenza Artificiale.

4. Upgrade del veicolo elettrico sia hardware che software e sua conseguente caratterizzazione cinematica e dinamica per il tuning dei parametri di controllo per la navigazione autonoma.

7 Dettaglio delle attività svolte

Le attività svolte in questo periodo sono qui di seguito brevemente descritte, quelle riportate nei paragrafi 7.3 e 7.4, sono attività aggiuntive rispetto a quanto previsto nel capitolato. Una esposizione maggiormente di dettaglio delle attività svolte è esposta nel documento aggiuntivo "**Sviluppo di applicazioni per il monitoraggio della Smart Road e caratterizzazione del veicolo elettrico**".

7.1 Studio dello stato dell'arte dei punti di ricarica con attenzione su quelli "wireless" e conseguenti valutazioni

Durante le attività del Piano Triennale precedente, è stata realizzata una Smart Road nel Centro Ricerche della Casaccia. Questa infrastruttura rappresenta un mezzo che permette il dialogo tra veicoli nel traffico urbano e la Smart City Platform, ideata per la pianificazione, la gestione e l'ottimizzazione della città nel suo complesso. In questo Piano Triennale è stata programmata l'aggiunta all'infrastruttura di sistemi di ricarica. Pertanto, è stata condotta un'analisi dello stato dell'arte di tali oggetti, facendo particolare attenzione ai sistemi di ricarica wireless che, sicuramente, giocheranno un importante ruolo in un vicino futuro.Per semplificare il processo di ricarica si sta sperimentando la ricarica wireless delle auto. Essa consiste in un procedimento senza contatto, ovvero il ripristino della capacità degli accumulatori del veicolo viene effettuato senza un collegamento fisico tra la vettura e la fonte di energia utilizzando, invece, dei campi magnetici che inducono la corrente elettrica. In Italia e all'estero sono numerosi gli esempi di ricarica wireless per auto. Di seguito si riportano alcuni esempi.

Autostrada BREBEMI (Brescia Bergamo Milano):

Figura 1. La pista di ricarica a induzione sulla BreBeMi

Nel tratto di autostrada denominato BreBeMi (Brescia, Bergamo, Milano) è stato sviluppato un modello di ricarica dinamica per veicoli a trazione elettrica. Il tutto è inserito in un sito chiamato “Arena Del Futuro”, vedi Figura 1. Il circuito è stato costruito con la collaborazione di partner internazionali, istituzioni pubbliche e Università ed ha una lunghezza di 1.050 metri ed è alimentato con una potenza di 1 MW e si trova nei pressi dell'uscita di Chiari Ovest.

Il sistema Electreon Wireless (Israele):

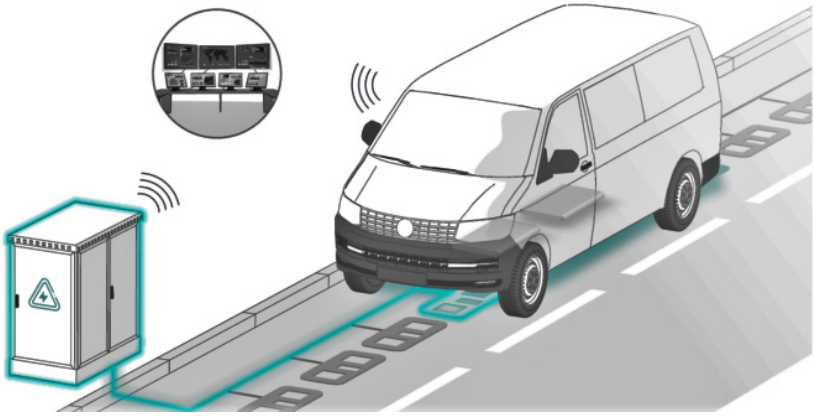

Figura 2. Il sistema di ricarica Electreon

La tecnologia di ricarica wireless di Electreon è implementata in zone dedicate e lungo le strade “elettriche”, consentendo alle flotte EV di ricaricarsi durante la loro giornata operativa, vedi Figura 2. La soluzione end-to-end comprende infrastrutture sotterranee, tecnologia lato veicolo e software avanzato di gestione della ricarica. Essa è partner tecnologico nella BreBeMi.

I sistemi Gotland e Arlanda in Svezia:

Figura 3. Un camion in ricarica dinamica nella eRoad Arlanda

I progetti pilota Smartroad Gotland ed eRoad Arlanda, sono due strade wireless electric che ricaricano furgoni e bus elettrici. In totale rappresentano strutture wireless lunghe quasi 4,1 chilometri (2,5 miglia). Sono state costruite in Svezia rispettivamente nell'isola di Gotland tra l'aeroporto e la città di Visby la prima, e la seconda tra l'aeroporto di Arlanda e Stoccolma, vedi Figura 3.

Con più auto elettriche in circolazione, saranno sempre più necessari nuovi strumenti di distribuzione dell'energia. Serviranno quindi colonnine sempre più potenti e rapide nel processo di trasferimento. Le nuove colonnine devono essere pensate per essere più intuitive e semplici da usare. Ad esempio, si sono studiate anche soluzioni dove la ricarica si effettua con sistemi robotizzati.

Il sistema CES-Volterio.

Il sistema è composto da una unità di bordo nel sottoscocca dell'auto e una unità a terra con robot per il corretto posizionamento del connettore di ricarica, vedi Figura 4.

Figura 4. Il sistema di ricarica robotizzato Volterio

Il sistema Charger hi-tech ATM:

Esso è rappresentato da postazioni evolute ad alto contenuto tecnologico che, attraverso un comando Wi-Fi, attivano un pantografo che carica in pochi minuti un bus elettrico. La ricarica avviene in modo semplice: il bus si posiziona sotto il pantografo che, attraverso il comando Wi-Fi, si connette al mezzo per effettuare il "rifornimento" in 5/8 minuti, vedi Figura 5.

Figura 5. Il sistema di ricarica ATM Charger Hi-Tech

Sviluppo di sistemi di ricarica a contatto super veloce.

La ricarica veloce che possa ripristinare l'autonomia dei veicoli elettrici in 5 minuti è di derivazione spaziale: è in corso di sviluppo da un gruppo di ricerca della Purdue University, sponsorizzato dalla Nasa.

Uno dei problemi dei sistemi di ricarica riguarda il cavo che collega la stazione al veicolo: le versioni impiegate per la ricarica rapida sono da 350 ampere ed implicano l'uso di conduttori di grandi dimensioni. Per raggiungere la desiderata soglia di 5 minuti (cui in realtà aspira tutta l'industria) bisognerebbe arrivare a 1400 ampere (775 kW). Attualmente i caricabatterie più evoluti forniscono solo fino a 520 ampere di corrente e la maggior parte dei caricabatterie disponibili per i consumatori supporta sino a 150 ampere. La soluzione potrebbe essere quella di affidarsi a un liquido di raffreddamento non conduttivo, pompato attraverso il cavo di ricarica. Questo sistema di dissipazione del calore consentirebbe di fornire 4,6 volte la corrente degli attuali caricabatterie ad alte prestazioni (da 520 ampere) presenti sul mercato, rimuovendo fino a 24,22 kilowatt di calore. Il cavo di ricarica di Purdue può fornire 2400 ampere, ben oltre i 1400 necessari per ridurre il tempo necessario per caricare un'auto elettrica a 5 minuti.

7.2 Studio di fattibilità di un prototipo di detector di difetti del manto stradale basato sulla misura di distanza raccolta da un LIDAR di navigazione, montato sul veicolo

Nel capitolato di progetto è previsto lo studio di fattibilità di un sensore per l'individuazione di difetti del manto stradale basato su misure laser da parte di un LIDAR, basato sull'uso di un fascio laser e realizzato con la misurazione del tempo di volo del segnale riflesso dagli ostacoli nell'ambiente. Un tale sensore fornisce una notevole quantità di dati, il Velodyne VLP-16 in dotazione ha 16 piani di scansione su 360°, fornendo fino a 300.000 punti al secondo. Questi dati sono utilizzati nella loro interezza per la localizzazione del veicolo, ma per l'analisi della superficie del manto stradale sono per la maggior parte non pertinenti, è stata quindi realizzata una elaborazione in più passi per concentrare l'attenzione sulla sola strada. Il primo passo è la segmentazione efficace della strada rispetto al flusso complessivo dei dati del LIDAR. Questa segmentazione

si basa sulla discriminazione di intensità del segnale, diversa tra superficie della strada e oggetti circostanti. In seguito a queste operazioni di filtraggio è possibile pervenire ad una stima convincente della superficie della strada, come mostrato in Figura 6. I punti verdi e rossi sono quelli calcolati dall'algoritmo di segmentazione, in particolare i verdi sono i punti appartenenti alla strada, mentre quelli rossi sono quelli di bordo. Ogni punto è rappresentato da una tripletta x, y, z e da un valore di riflettività e può essere mostrato a video.

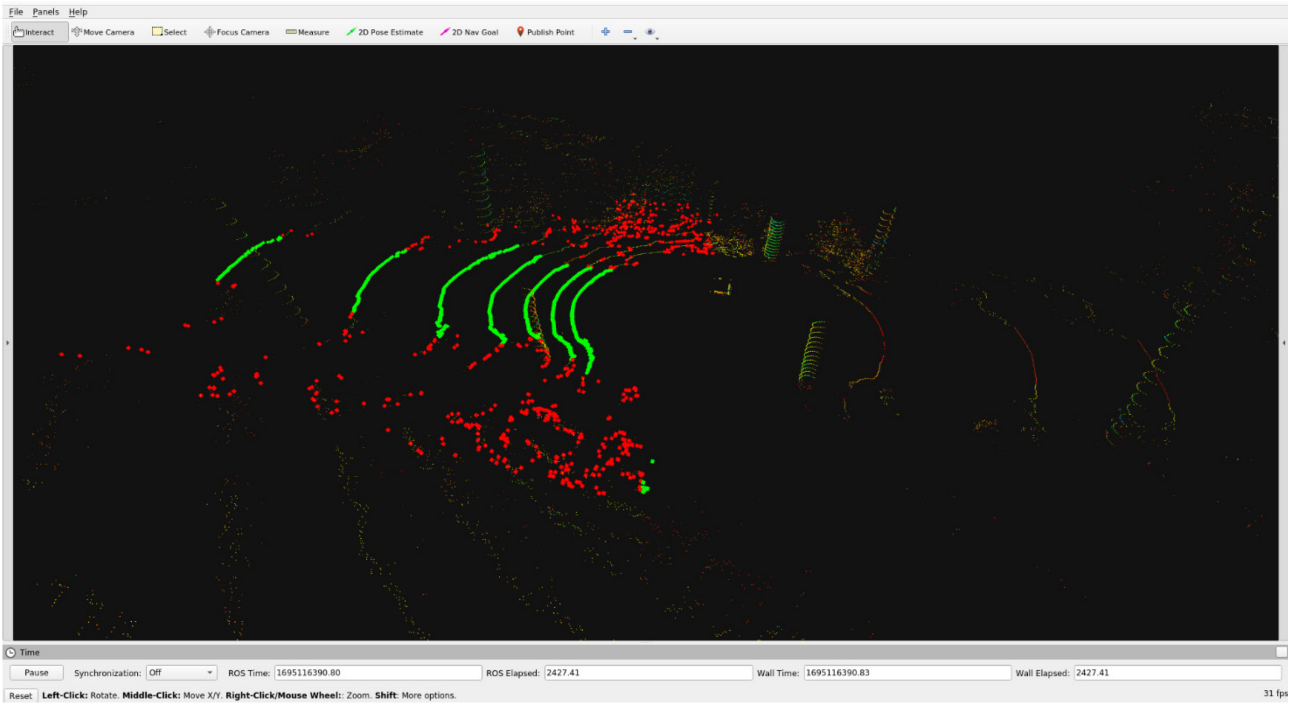

Figura 6. La segmentazione della strada: in verde la strada ed in rosso i bordi della stessa. Gli altri punti sono tutti quelli provenienti dal LIDAR

A valle della segmentazione, i dati a disposizione sono le posizioni geometriche tridimensionali dei punti di scansione del LIDAR sulla superficie della strada, i punti verdi della Figura 7Figura 6. Per realizzare il riconoscimento delle buche o dossi si verifica la presenza di segmenti lineari o quasi lineari che possano essere buoni candidati per il fondo stradale nei cinque *scan* del LIDAR utilizzati: l'eventuale deviazione di alcuni punti rispetto al profilo lineare calcolato, opportunamente misurato tramite soglia, rappresenterà il difetto stradale.

In Figura 7 è mostrato il risultato dell'applicazione dell'algoritmo ai dati raccolti con il LIDAR nell'intorno di un difetto stradale. Al centro dell'immagine è chiaramente visibile il difetto, esso è evidenziato con una colorazione in rosso in quei punti della scansione dove la deviazione dal *fit* lineare della superficie stradale è superiore ad una soglia di 2 cm. In particolare, l'avvallamento/buca qui mostrata ha una deviazione media dalla superficie del manto stradale di circa 7-8 cm. Più in lontananza sono evidenti delle zone difettose lungo i lati della strada, relative alla presenza di radici di pini che provocano un sollevamento dell'asfalto, al momento ancora modesto, ma già rivelabile.

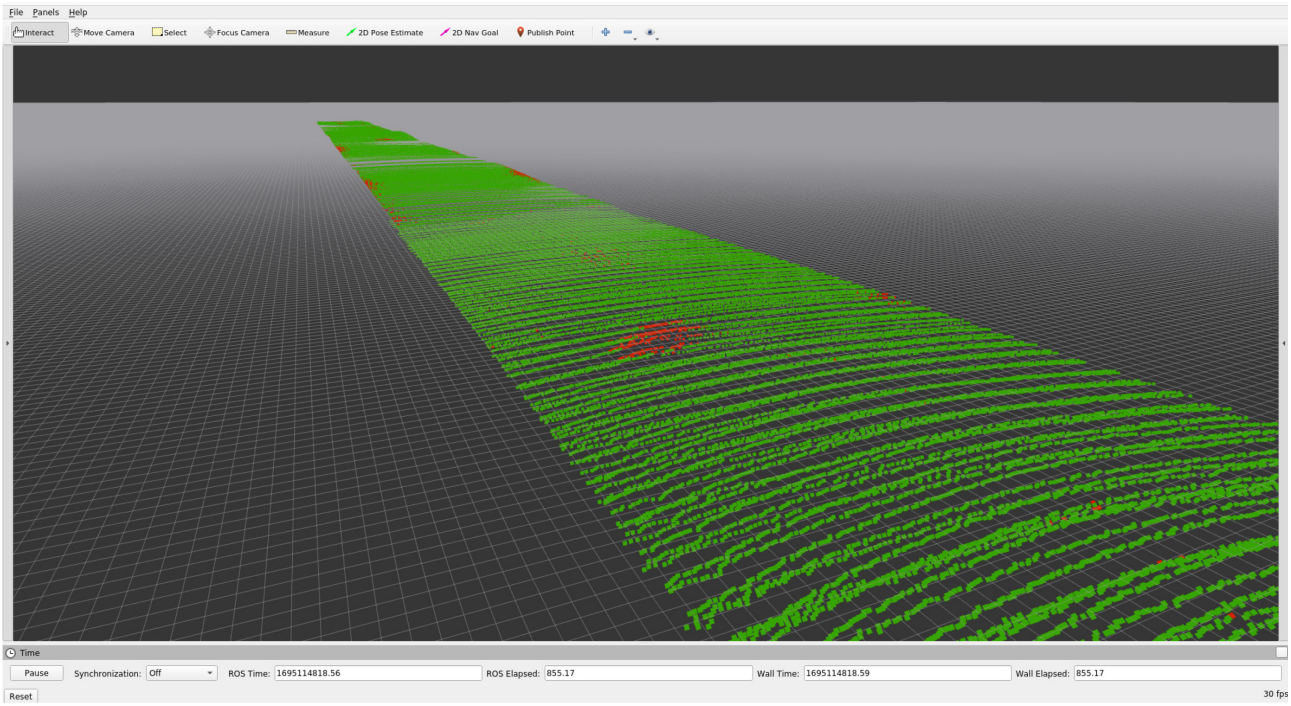

Figura 7. La superficie della strada con evidenziate in rosso le zone difettose

Naturalmente la presenza del difetto stradale viene associata ad una misura GPS in modo da georeferenziare il dato.

7.3 Studio e realizzazione di un prototipo di classificatore neurale di difetti superficiali del manto stradale basato sull'analisi di flussi video, con tecniche di Intelligenza Artificiale

A valle dell'esperienza portata avanti nello scorso piano triennale, è stato studiato e realizzato un'evoluzione del sensore per la misurazione dello stato del manto stradale allora sviluppato. Il sensore acquisisce un flusso video continuo da una telecamera di bordo ed utilizza un approccio basato su algoritmi di AI (Artificial Intelligence), in particolare reti neurali profonde (Deep Neural Networks, DNN) per individuare e classificare i difetti del manto stradale.

Nel corso delle attività è stato progettato e messo in opera il sistema nelle sue funzionalità operative, è stato notevolmente incrementato il dataset di immagini con relativa realtà a terra, già iniziato nel triennio scorso, è stato addestrato e testato il sistema in differenti modalità e con diversi parametri per ottenere un sistema affidabile da installare a bordo del veicolo.

È stato utilizzato un approccio di transfer learning su un'architettura di rete YOLO (You Only Look Once, una classe di reti molto performanti). Il transfer learning permette di contenere i tempi di addestramento delle DNN, in quanto riutilizza parte dell'addestramento compiuto in precedenza su di un problema simile.

Una rete addestrata a riconoscere immagini di oggetti può essere pensata come formata da due parti: una prima parte che elabora le immagini e ne estrae caratteristiche utili alla seconda parte che classifica in un certo numero di classi di oggetti. Il transfer learning utilizza i pesi della prima parte della rete neurale e riaddestra solo la parte di classificazione nel numero di classi del problema in studio. Nel presente caso è stata utilizzata una rete YOLO addestrata in una challenge basata sul dataset ImageNet che prevedeva più di

14 milioni di immagini da classificare in 1000 classi; essa è stata poi riaddestrata nella sola parte di classificazione su sei classi di difetti della superficie stradale.

Figura 8. Esempio di immagine con i difetti riconosciuti dal sistema: è stato riconosciuto un tombino (MAN) con 0.59 e, al contempo, una buca (POT) con 0.66

In Figura 8 è mostrato l'output del sistema di riconoscimento durante l'analisi di una immagine. Esso è in grado di riconoscere la presenza di una buca (POT, dall'inglese *pothole*) ed un tombino (MAN, *manhole*). Per un confronto a quanto precedentemente descritto per l'altro sistema di misura (paragrafo 7.2), l'immagine si riferisce allo stesso difetto misurato con il LIDAR e mostrato in Figura 7.

Le due misurazioni, quella metrica ottenuta con il LIDAR e quella derivante dall'approccio basato sull'analisi del flusso video risultano essere sinergiche. Infatti, l'elaborazione dell'immagine offre un'informazione visuale che permette di apprezzare la presenza o meno di un difetto stradale, ma non ne dà una misura metrica. Al contrario la misurazione con il LIDAR offre la possibilità di una effettiva misura metrica del difetto anche se non permette di misurare la presenza o meno di classi di difetti come quella delle fessurazioni a reticolo (*alligator crack*) che presenta differenze di quota molto limitate, ma che rappresenta il primo segno di ammaloramento della strada e che porterà a danni più gravi.

7.4 Upgrade del veicolo elettrico sia hardware che software e sua conseguente caratterizzazione cinematica e dinamica per il tuning dei parametri di controllo per la navigazione autonoma

Una delle attività svolte in questo periodo è stata quella dell'aggiornamento del veicolo elettrico. A valle delle esperienze compiute nello scorso Piano Triennale, sono state individuate delle modifiche da apportare al mezzo e delle opportune acquisizioni per allungarne la vita utile.

Le operazioni compiute sul veicolo sono state:

- il bloccaggio meccanico delle ruote posteriori;
- l'acquisizione ed installazione di nuovi *driver* elettronici per i motori;
- l'acquisizione di batterie e di un regolatore di tensione.

Bloccaggio delle ruote posteriori. Il veicolo nasce con tutte e quattro le ruote sterzanti; questa caratteristica, pur essendo ovviamente positiva, durante le sperimentazioni di guida autonoma ha causato alcune difficoltà. Queste difficoltà sono legate alla natura del controllo delle ruote posteriori che si basa sulla lettura della posizione di quelle anteriori e sulla replica di questa in modo simmetrico. La replica, però, è funzione della velocità del veicolo, essendo massima a bassa velocità e via via minore al suo aumentare. Questa variabilità, unita ad alcuni problemi di natura hardware riscontrati nei sensori, ha suggerito il bloccaggio meccanico delle ruote posteriori, riportando la configurazione a quella di un veicolo standard.

Nuovi *driver* elettronici. I motori del mezzo sono controllati da *driver* elettronici, a loro volta controllati dalla centralina del veicolo. Essi sono stati sostituiti con un modello più recente, che permette una misura della velocità di rotazione delle ruote con maggiore risoluzione, condivisa tramite il CAN bus, usato per lo scambio dati sul veicolo. Questa maggiore risoluzione è di grande rilevanza nel momento in cui si controlli il mezzo in modalità *drive-by-wire*, rappresentando la velocità di rotazione delle ruote, il segnale di retroazione utilizzato per il controllo.

Acquisizione batterie e regolatore. Allo scopo di aumentare la vita utile del mezzo, è stato acquisito un pacco batterie al litio con relativo *Battery Management System* (BMS), destinato alla trazione. Altra modifica al veicolo è stata quella di acquisire un nuovo regolatore di tensione in grado di consentire una migliore ricarica alla batteria di servizio del veicolo stesso. La batteria di servizio, una batteria classica al piombo con tensione nominale di 12 Volt, è quella che permette al veicolo di poter utilizzare i servizi anche a batteria principale staccata e, in particolare, permettere l'accensione del veicolo dando tensione ai relè che operano la connessione della batteria principale.

A valle di questi interventi si è resa necessaria una attività sperimentale sul veicolo in modo da poterne misurare le caratteristiche evolutive in termini di controllo di sterzo e di velocità, mutati dagli interventi meccanici ed elettrici sopra esposti. In particolare, sono state portate avanti le attività volte allo studio della relazione tra angolo al volante e raggio di curvatura della traiettoria, mutati dal bloccaggio delle ruote posteriori e lo studio del controllo di velocità per tenere conto dei nuovi driver elettronici dei motori.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

All'interno della Linea di Attività 2.19 non sono state utilizzate consulenze.

9 Pubblicazioni scientifiche

Non sono state realizzate pubblicazioni scientifiche nella presente Linea di Attività.

10 Eventi di disseminazione

Non sono stati realizzati eventi di disseminazione nella presente Linea di Attività.