



Regione Toscana

REGIONE TOSCANA

PR FESR 2021-2027 OP1 OS1 Azione 1.1.4 “Ricerca e sviluppo per le imprese anche in raggruppamento con organismi di ricerca”

Milestone I: Analisi dello Stato dell’Arte

Definizione delle specifiche tecniche dei potenziali sensori e delle caratteristiche delle reti neurali da utilizzare

Sommario

Introduzione	2
Telecamere.....	2
Telecamere Lineari	3
Telecamere Matriciali.....	3
Illuminazione	4
Supporti	5
Limiti e problematiche del setup	8
Modelli di riconoscimento.....	9
Ammaloramenti e segnaletica orizzontale	9
Segnaletica verticale	9



Regione Toscana

Introduzione

Ai fini del raggiungimento degli obiettivi del progetto, il passo base è lo studio e la messa a punto del sistema con il quale verranno effettuate le misure. Questo prevede la scelta della sensoristica da utilizzare, sia per quanto riguarda i sensori primari di acquisizione, come le telecamere, sia gli strumenti secondari di supporto. In secondo luogo, quindi, i dati raccolti potranno essere analizzati, per cui è necessaria l'individuazione dell'approccio più adatto all'obiettivo del progetto.

Telecamere

I sensori principali sono sicuramente le telecamere, che consentano l'acquisizione dei video per registrare le immagini degli ammaloramenti stradali e della segnaletica orizzontale e verticale. Le tipologie di telecamere che sono ritenute adeguate a tale utilizzo sono telecamere di tipo lineare e/o matriciale.

Le telecamere in uso sono almeno due, in quanto le inquadrature necessarie sono: quella della carreggiata per gli ammaloramenti e la segnaletica orizzontale, e quella frontale per la segnaletica verticale. A ciò consegue che le telecamere per le due inquadrature possono essere diverse tra loro e più adatte allo scopo.

Per quanto riguarda l'inquadratura della carreggiata, le telecamere lineari risultano superiori per quanto riguarda il monitoraggio di superfici continue e molto estese, come le pavimentazioni stradali. L'acquisizione di immagini ad alta risoluzione su lunghe distanze consentirebbe infatti un'analisi dettagliata di ammaloramenti come crepe e deformazioni senza perdita di informazioni a causa di limitazioni del campo visivo. Tali dispositivi, tuttavia, richiedono una stabilità difficilmente raggiungibile in un contesto come quello di un veicolo in movimento. Dover acquisire delle immagini da un veicolo in movimento su strada, anche dissestata, rappresenta una delle maggiori problematiche del setup. Si ritiene che sia possibile trovare più agevolmente delle soluzioni se le telecamere che vengono utilizzate sono di tipo matriciale.

Per l'inquadratura frontale, al contrario, le telecamere matriciali sono più indicate, in quanto catturano l'intera scena in un singolo fotogramma e si adattano meglio a variazioni di luce e prospettiva. Un altro vantaggio rispetto alle telecamere lineari è la capacità di elaborare



Regione Toscana

immagini a colori con maggiore precisione, migliorando la distinzione tra simboli e testi presenti nei segnali stradali verticali. Inoltre, rispetto ad alternative come le telecamere stereoscopiche, che possono soffrire di problemi legati alla parallasse e alla sincronizzazione delle immagini, le telecamere matriciali sono in grado di adattarsi meglio a variazioni di luce e prospettiva, rendendo più affidabile il riconoscimento dei segnali.

Di seguito è dunque riportata una descrizione delle due tipologie di telecamere che sono state studiate per l'acquisizione video.

Telecamere Lineari

Le telecamere lineari acquisiscono una linea di pixel per volta. Il loro utilizzo con inquadratura della carreggiata prevede quindi la ricostruzione della superficie stradale una linea per volta. Una possibile soluzione consiste nel montare due sensori identici sul retro del veicolo, posizionati ad un'altezza fissa di circa 1 metro dal livello della strada, in modo da coprire orizzontalmente la larghezza dell'intera carreggiata.

Telecamere Matriciali

I possibili modelli di telecamera matriciale tenuti in considerazione sono di due categorie:

1. Una telecamera programmabile di alta gamma
2. Una action camera

Per entrambe vengono analizzati i pro e i contro.

La telecamera matriciale di alta gamma è programmabile, pertanto le specifiche di acquisizione possono essere monitorate. Inoltre, può essere collegata a un encoder, che fornisce informazioni sulla velocità e sulla distanza percorsa, facilitando così l'estrazione diretta dei fotogrammi ed evitando l'elaborazione successiva dei dati. Come contro, il costo è elevato, sono necessari supporti aggiuntivi per antivibrazione e stabilizzazione, che risultano ingombranti e potrebbero ostacolare la visibilità e rappresentano, inoltre, un ulteriore costo. È necessario un collegamento diretto per l'alimentazione, non essendoci una batteria integrata, e non dispone di un case che la protegga dagli agenti atmosferici.

La action camera è relativamente a basso costo, non necessita di stabilizzatori esterni, in quanto dispone di stabilizzatore integrato, ha uno scarso ingombro sul veicolo e lo stesso vale per i supporti di fissaggio, non necessita di case esterni, essendo omologata per resistere agli agenti atmosferici, ed è possibile modificare le impostazioni di acquisizione da remoto, tramite apposita applicazione. Come contro si deve far fronte al problema del surriscaldamento, ha tempi più lunghi di elaborazione e non è possibile visualizzare i fotogrammi in tempo reale.

Illuminazione

Tra i dispositivi secondari che sono stati valutati per la progettazione del setup troviamo un sistema di illuminazione, di supporto alle telecamere. Affinché il corretto funzionamento delle telecamere lineari sia possibile è, infatti, necessario che le condizioni di luce siano costanti durante il movimento. Il loro utilizzo si basa su una fase di calibrazione iniziale, su cui si baseranno le registrazioni, che dovranno avere lo stesso grado di illuminazione della calibrazione che si utilizza.

Una possibile soluzione è l'utilizzo di una fonte di luce a led per rendere uniforme la quantità di luce presente nella zona di inquadratura. È stato quindi testato un led **GEVX80-6K-UD** (il cui schema è riportato in Figura 1). Questo tipo di illuminatore è pensato proprio per telecamere lineari e, come riporta la scheda tecnica, dispone delle caratteristiche necessarie a fornire il giusto grado di illuminazione nel setting desiderato, cioè ad un'altezza di circa 1 metro dal suolo.

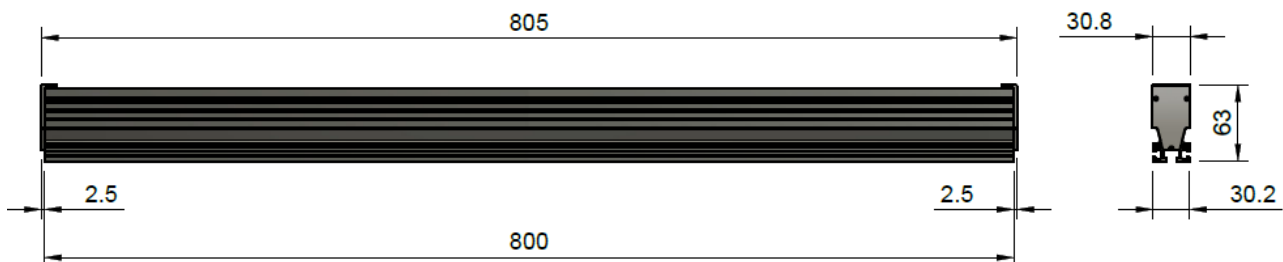


Figura 1: Schema LED GEVX80-&K-UD

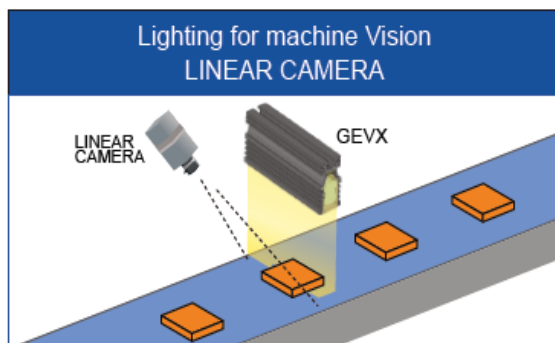


Figura 2: Applicazione LED GEVX con telecamera lineare

Modello	Descrizione
GEVX80-6K-UD	Barra Led serie GEVX 80 cm, (ingombro totale 80,5 cm), led bianco 6000 K, 228 led Cree JB3030, 24 Vdc, 70mA @led, 2,66 A complessivi, 63 W, 33 sk. GE411, uso continuo , lente focalizzante a 5°, grado di protezione IP54, cavo di alimentazione 2 mt a 2 poli

Tabella 1: Descrizione LED GEVX

Supporti

Per poter effettuare riprese su un veicolo in movimento, bisogna fissare le telecamere a tale veicolo. Si deve quindi individuare un supporto adeguato allo scopo che risulti stabile, ben aderente al veicolo e che consenta una buona qualità video.

Per la maggior parte di tipologie di telecamera, il supporto deve avere anche la funzionalità di stabilizzatore, tenendo conto sia delle vibrazioni emesse dal veicolo, sia delle oscillazioni di quest'ultimo dovute al movimento. Senza adeguata stabilizzazione, infatti, le immagini risultano mosse e quindi impossibili da analizzare.

Uno stabilizzatore esterno è necessario per le telecamere matriciali non dotate di stabilizzazione interna e risulta cruciale nel caso delle telecamere lineari. Per queste ultime, a causa delle loro caratteristiche intrinseche, è richiesta una precisione di movimento nell'ordine dei millimetri.

Consultando lo stato dell'arte e la tecnologia a disposizione, uno dei possibili dispositivi è un sistema di ventose antivibrazione **PROAIM SuperGrip Suction Car Mount (VI-SPGP-01)** da applicare al veicolo, congiunto con un braccio stabilizzatore elettronico **DJI RS4 PRO**.

Di seguito si riportano le immagini di tali dispositivi, rispettivamente le ventose in Figura 3 e il braccio stabilizzatore in Figura 4.



Figura 3: PROAIM SuperGrip Suction Car Mount (VI-SPGP-01)



Figura 4: DJI RS4 PRO [<https://www.dji.com/it/rs-4-pro/specs>]

Per l'utilizzo di tali strumenti con una telecamera lineare, si può pensare ad un'installazione in posizione orizzontale, fissati al vetro posteriore del veicolo, così da permettere l'inquadratura della carreggiata mantenendo la distanza di circa 1 metro dalla superficie stradale, necessaria affinché la telecamera riprenda con la giusta definizione e quantità di illuminazione. Il setting è schematizzato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**: il sistema di ancoraggio delle telecamere sul vetro posteriore del veicolo, l'impianto di illuminazione LED sottostante e un'inquadratura orizzontale a circa un metro dalla pavimentazione stradale.

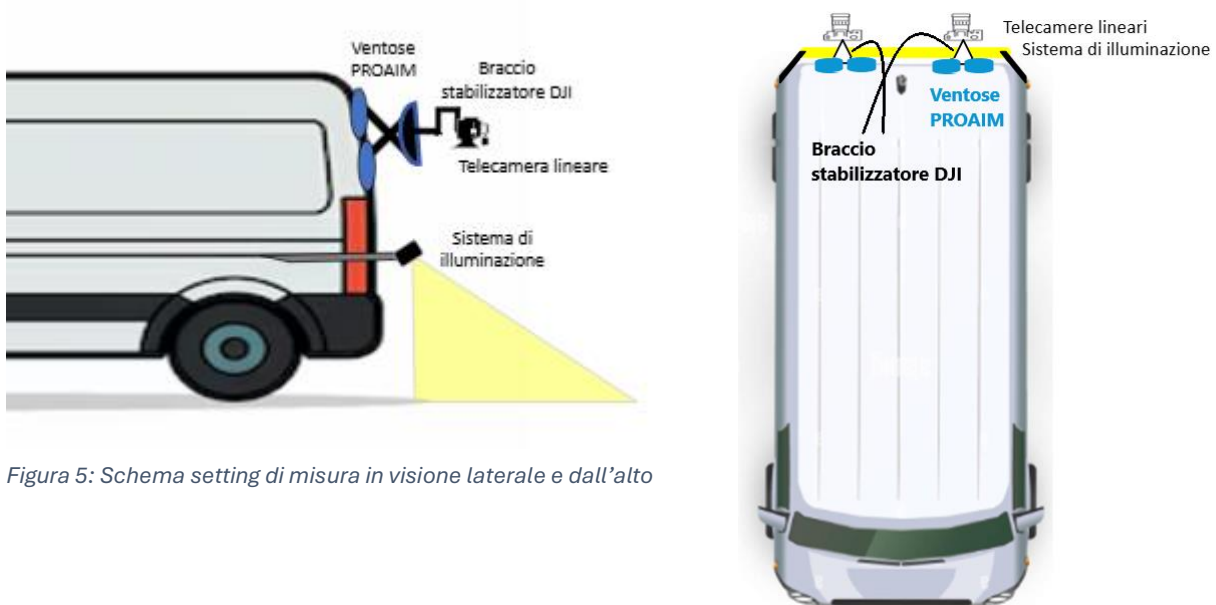


Figura 5: Schema setting di misura in visione laterale e dall'alto

Per quanto riguarda la telecamera matriciale, se essa non è dotata di stabilizzatore interno, si può pensare ad un setting simile a quello appena descritto, se utilizzata per l'inquadratura della carreggiata. Per l'inquadratura frontale, invece, si può optare sempre per l'utilizzo di un sistema di ventose e di un braccio stabilizzatore, il setting risulta come in Figura 6.

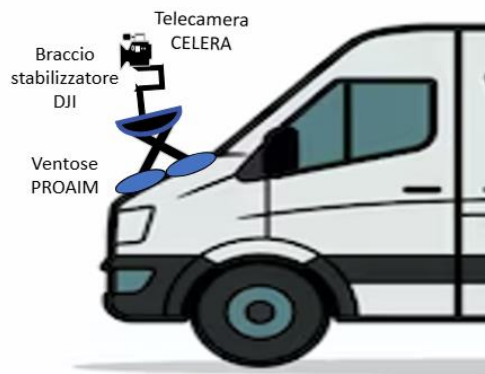


Figura 6: Setting frontale con telecamera matriciale e supporti.

Per l'inquadratura frontale è possibile utilizzare anche una telecamera matriciale dotata di stabilizzatore interno, in tal caso il sistema di supporto e stabilizzazione non risulta più necessario e il fissaggio al veicolo può essere effettuato, ad esempio, mediante supporti adesivi, il setting risulta come in Figura 7.

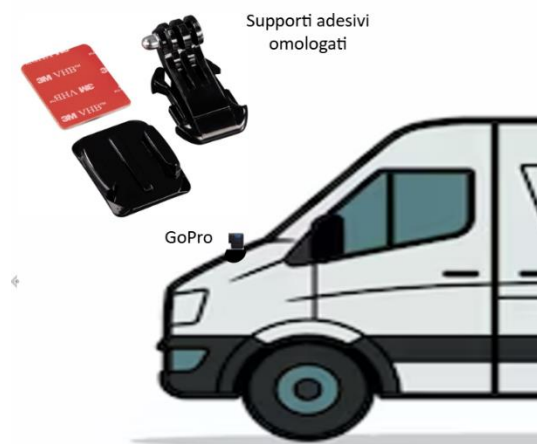


Figura 7: Setting frontale con telecamera matriciale dotata di stabilizzatore integrato.



Regione Toscana

Limiti e problematiche del setup

Alla luce degli studi effettuati, le principali problematiche che si possono riscontrare si possono riassumere in tre punti principali:

1. Per quanto riguarda la strumentazione predisposta a stabilizzare l'inquadratura della telecamera, dopo analisi più accurate è emerso che il braccio DJI non è in grado di svolgere la sua funzione se posizionato orizzontalmente. La sua progettazione gli impedisce di eseguire i movimenti di stabilizzazione a partire da una posizione parallela al suolo e di conseguenza la posizione della telecamera e l'intero setting relativi all'inquadratura della carreggiata proposti non sono adottabili.
2. L'unica opzione per mantenere una posizione verticale per il braccio stabilizzatore è quella di montarlo, assieme al sistema di ventose antivibrazione, sulla parte posteriore del tettuccio del veicolo. Questa soluzione risulta ottimale per quanto riguarda la stabilizzazione, ma impedisce l'utilizzo di telecamere lineari. Si perdono, infatti, la posizione e l'inquadratura necessarie. Con un setting di questo tipo, la telecamera è molto più lontana dal suolo rispetto al setting precedente e non ne può avere una visuale esattamente parallela, entrambe condizioni incompatibili con il corretto funzionamento della telecamera lineare.
3. L'utilizzo di strumentazione di illuminazione comporta molte difficoltà logistiche. Le riprese in presenza di luce solare sono a prescindere esposte a condizioni di illuminazione troppo variabile, il led, infatti, non può compensare la luce solare. Di conseguenza l'unica alternativa percorribile è effettuare le riprese di notte, tuttavia, la presenza dei led costituisce un potenziale pericolo per gli altri utenti stradali ed è, inoltre, da considerare l'interferenza con le altre fonti luminose (fari, lampioni ecc.).



Regione Toscana

Modelli di riconoscimento

Altro oggetto di studio è costituito dalle diverse tecniche di analisi delle immagini acquisite. Si riportano di seguito i possibili modelli di riconoscimento, suddivisi per inquadratura.

Ammaloramenti e segnaletica orizzontale

Per il riconoscimento degli ammaloramenti della superficie stradale, l'approccio principale previsto è basato su tecniche di object detection, che permettono di identificare e localizzare i dissesti (come buche, fessurazioni o tombini) attraverso bounding box. In questa fase esplorativa, verranno presi in considerazione modelli consolidati come YOLO e Faster R-CNN, che offrono un buon compromesso tra accuratezza e velocità di elaborazione.

L'utilizzo della segmentazione semantica o istanziata (es. con Mask R-CNN o U-Net) sarà valutato come opzione secondaria, nel caso in cui si rendesse necessario ottenere una mappatura più dettagliata e precisa delle superfici danneggiate, ad esempio per finalità di quantificazione o misura dei vari ammaloramenti.

Anche per la segnaletica orizzontale si prevede inizialmente un approccio basato su object detection, con l'obiettivo di riconoscere e classificare gli elementi principali (strisce pedonali, linee di mezzera, simboli) tramite modelli leggeri ed efficienti. L'uso di architetture come YOLO consentirà di individuare rapidamente le aree interessate, con un livello di dettaglio sufficiente per molte applicazioni operative. Qualora si rendesse necessario ricostruire la forma esatta degli elementi o misurarne l'usura in modo più preciso, sarà considerato l'impiego di tecniche di segmentazione, eventualmente integrate da algoritmi geometrici (come la trasformata di Hough) per il tracciamento delle linee.

Segnaletica verticale

Per la segnaletica verticale si prevede, allo stesso modo, un approccio iniziale basato su tecniche di object detection, con l'obiettivo di rilevare e classificare automaticamente i cartelli stradali presenti nell'ambiente urbano ed extraurbano. Verranno considerati modelli come YOLOv5/v8 e Faster R-CNN, che offrono buoni livelli di accuratezza anche in presenza di occlusioni parziali, inclinazioni o condizioni di luce variabili. Questo approccio è adatto a



Regione Toscana

costruire una mappa aggiornata della segnaletica esistente. Le classi di segnali da rilevare saranno definite in fase di annotazione dei dati, sulla base delle principali categorie previste dal Codice della Strada.

L'utilizzo di tecniche di segmentazione istanziata sarà eventualmente considerato come estensione, qualora si rendesse necessario ottenere una sagoma più accurata del cartello o separare visivamente segnali ravvicinati o sovrapposti. In questo caso, si potrà valutare l'impiego di modelli come Mask R-CNN, con l'eventuale integrazione di moduli di OCR per l'estrazione automatica del contenuto testuale, utile ad esempio per limiti numerici o informazioni specifiche. Tale estensione sarà presa in considerazione solo se le prestazioni dei modelli di detection risultassero insufficienti rispetto agli obiettivi del progetto.