

**Regione del Veneto  
Giunta Regionale  
Direzione Regionale Istruzione**

**RELAZIONE CONSUNTIVA SULL'ATTIVITA' DI RICERCA**

DGR n. 1148 del 05/07/2013

**Cod. Ente: 2122 Rag. Sociale Università Iuav di Venezia Asse Capitale Umano Cod. progetto 2122/1/19/1148/2013 Titolo Safety Road Tool Cod. Intervento Edizione - Safety Road Tool Sede Unisky s.r.l. , Spin-off dell'Università IUAV di Venezia, Vega Parco Scientifico Tecnologico di Venezia, Palazzo Pegaso via delle Industrie 15, 30175 Porto Marghera (VE) Università IUAV di Venezia, sede di Ca' Tron, Santa Croce 1957, 30135 Venezia (VE).**

*Il sottoscritto **Luigi Di Prinzi** nato a Pescara il 29/10/1945 residente in Castello 3180, 30100 Venezia in qualità di **Referente** per la ricerca con riferimento all'intervento in oggetto,*

e

*Il sottoscritto **Ragnoli Antonella** nato a Giulianova (TE) il 18/01/1982 residente in Contrada Colle Leone 35, 64023 Mosciano Sant'Angelo (TE) e domiciliato in Calle dello Sturione San Polo 682, 30125 Venezia in qualità di **Destinatario dell'intervento** in oggetto,*

DICHIARANO

che l'intervento in oggetto nel **periodo dal 17/3/2014 al 16/9/2014** si è articolato nelle seguenti attività:

**Attività** (Descrivere le diverse attività che saranno svolte nel periodo di riferimento)

La ricerca legata all'assegno Safety Road Tool - Strumenti e Nuove Tecnologie per la Sicurezza Stradale si pone come obiettivo primario quello di analizzare la tematica della sicurezza stradale e della gestione del patrimonio viario all'interno di un'ottica di innovazione sia attraverso un moderno approccio finalizzato all'analisi di problemi complessi e sia mediante il contributo di nuovi strumenti di indagine territoriale.

Il valore aggiunto della ricerca è quello di applicare un approccio di tipo preventivo alla gestione della sicurezza stradale, e creare una metodologia di analisi che consideri quegli aspetti che a maggior titolo influenzano le condizioni di sicurezza della circolazione, così da fornire uno strumento innovativo a supporto dei processi di gestione del patrimonio viario, orientato anche alle esigenze di soggetti preposti alla gestione della viabilità minore.

Elementi strategici alla base di questo nuovo approccio sono un evidente contributo di innovazione tecnologica e culturale, che si traduce nella disponibilità di sistemi innovativi di rilievo e strumenti software di analisi orientabili alle esigenze dei soggetti preposti alla gestione e alle diverse caratteristiche e dimensioni della rete stradale, e nella consapevolezza della necessità di un approccio olistico per il raggiungimento degli obiettivi circa la sicurezza e ottimizzazione.

In tale ottica la conoscenza dettagliata delle condizioni dell'infrastruttura, ed in primo luogo la caratterizzazione di quegli aspetti che a maggior titolo generano effetti sul livello di servizio e sicurezza di una arteria stradale, diviene un elemento strategico, che può facilitare i processi di individuazione delle più frequenti cause di incidente e conseguentemente porre in atto su di esse efficaci azioni di mitigazione preventive.

Il percorso di ricerca svolto nel primo semestre ha visto la successione di diversi momenti, individuabili in una preliminare fase di ricerca scientifica a carattere più teorico e generale sui temi della sicurezza stradale e della gestione dell'infrastruttura, finalizzata a tracciare i confini della tematica e ad identificarne i principali aspetti da analizzare, una seconda fase dai connotati di ricerca applicata, con lo scopo principale di effettuare una esauriente ricognizione di buone pratiche e metodologie innovative, attingendo sia al versante accademico e sia quello industriale, e una fase di ricerca industriale mirata ad individuare le migliori soluzioni tecnologiche, in termini di hardware e software disponibili sul mercato, che più corrispondono alle esigenze conoscitive emerse dalle fasi precedenti di analisi. Di seguito si riporta la descrizione delle attività svolte nelle fasi descritte.

Attività 1: Scenario di riferimento e analisi dei fenomeni.

La prima attività svolta ha portato alla definizione dei confini della ricerca, così da individuare i concetti chiave che sottendono la problematica della sicurezza in ambito stradale e le principali metodologie impiegate in materia di gestione delle infrastrutture. La primaria attività è stata quella dell'analisi della tematica oggetto di studio: la sicurezza stradale è stata affrontata sotto diversi punti di vista, partendo da un'analisi dei concetti teorici, delle metodologie attualmente presenti in letteratura, fino a giungere allo studio dei fenomeni ed elementi che possono concorrere a definire il livello di sicurezza per una infrastruttura stradale. Si è rivelata di particolare importanza la fase di analisi che ha portato all'individuazione dei fattori esogeni ed endogeni rispetto al "Sistema strada" e allo studio dei rapporti di correlazione tra loro esistenti, che concorrono a determinare il livello di sicurezza proprio di un itinerario.

L'attività di ricerca finalizzata alla costruzione dello scenario di riferimento ha compreso inoltre una fase di analisi dei principali riferimenti legislativi e indirizzi a livello nazionale ed internazionale sul tema della Road Safety, con particolare riferimento alla nuova visione di Smart Mobility ed orientati all'innovazione, grazie anche all'introduzione strategica di sistemi ICT nel settore della mobilità.

Completa lo scenario di riferimento l'analisi di alcune delle buone pratiche in termini di sistemi e metodologie per l'analisi delle caratteristiche di sicurezza della strada, attingendo sia ad esperienze nazionali e sia internazionali, ponendo in evidenza l'importanza del nuovo approccio preventivo, fondato su una profonda conoscenza del sistema strada.

Attività 2: Definizione destinatari e esigenze

Il tema della mobilità sicura coinvolge un ventaglio eterogeneo di attori, poiché alla maggior parte delle azioni quotidiane risulta associato uno spostamento. Questa fase della ricerca è stata finalizzata alla mappatura delle categorie di utenze e delle loro esigenze rispetto al tema della mobilità sicura. La prima distinzione effettuata ha portato ad una divisione in portatori di diritti e di responsabilità: i primi sono riconducibili a tutti gli utenti della strada che esercitano quotidianamente il proprio diritto allo spostamento, risultando da un lato sottoposti a livelli di rischio variabili, e dall'altro agenti nei processi di innesco di eventi incidentali. La seconda categoria di attori detiene invece un ruolo attivo nei processi decisionali riguardanti il tema della sicurezza stradale: su questi ultimi si orienta maggiormente la presente ricerca, con l'obiettivo di progettare una metodologia a supporto dei processi di gestione del patrimonio stradale.

L'attività è finalizzata alla messa a fuoco delle principali esigenze dei soggetti che svolgono un ruolo decisionale e di responsabilità sul tema della sicurezza stradale; più nello specifico è necessario individuare le esigenze conoscitive proprie di questi utenti, sulle quali erigere una serie di valutazioni che concorrono al dimensionamento e progetto della metodologia.

Attività 3: Progettazione preliminare della metodologia

Dalle fasi di ricerca preliminare emerge la necessità di progettare una metodologia di analisi delle condizioni strutturali dell'infrastruttura stradale, al fine di definire strategie migliorative delle condizioni di sicurezza. Ciò comporta l'introduzione di nuovi principi alla base dell'analisi del degrado e di conseguenza la necessità di conoscere in maniera più approfondita le loro caratteristiche: l'obiettivo di una manutenzione di tipo preventivo non si limita all'eliminazione o alla mitigazione della criticità ma è orientata a individuare soluzioni che garantiscano adeguata efficacia nel tempo e durabilità delle soluzioni.

Questo aspetto determina la necessità di adeguare le tecniche di diagnosi dei degradi, così da consentire l'imputazione delle cause possibili per ciascun ammaloramento e avanzare delle ipotesi sulla presunta evoluzione dei fenomeni di decadimento. Tale esigenza conoscitiva deve essere corrisposta attraverso adeguate tecnologie di indagine, sfruttando al meglio il contributo delle nuove tecnologie, tenendo presenti i requisiti di affidabilità, ripetitività e scalabilità delle procedure.

Si delinea in questo modo un nuovo concept di indagine strutturata ed analisi propedeutica alla gestione di problematiche complesse, che si fonda sulla definizione di quadri conoscitivi di base integrati e la successiva costruzione di modelli di analisi ed indici in grado di rappresentarne lo stato evolutivo in ragione delle dimensioni spaziali e la velocità di mutamento dei fenomeni.

Il metodo si caratterizza infatti da un lato per la possibilità di descrivere, attraverso l'integrazione di diverse fonti dati, le caratteristiche della strada secondo differenti livelli di approfondimento creando Road Model e dall'altro per e la possibilità di progettare strategie di interventi commisurate alle esigenze dell'Ente a cui è rivolto, alla tipologia di infrastruttura secondo il livello gerarchico di rete e alle caratteristiche delle aree indagate. Ai fini della sperimentazione il metodo viene applicato nel dettaglio ad un solo tema tra quelli ritenuti di interesse, identificato in quello dell'analisi della pavimentazione stradale. L'obiettivo è quindi quello di definire, sulla base dell'analisi di buone pratiche e riferimenti normativi, supportate da una adeguata fase di sperimentazione, un metodo per l'analisi dello stato di degrado della

pavimentazione che possa essere adattato alle diverse esigenze conoscitive degli Enti Territoriali. Caratteristiche come la modularità e la scalabilità nella fase di rilievo ed analisi sono presupposti di base per costruire i primi strumenti di un sistema orientato al supporto delle decisioni per la manutenzione e riabilitazione stradale.

**Attività 4: Definizione degli standard e dei criteri**

Il metodo di valutazione dello stato manutentivo della pavimentazione si basa su un sistema di analisi fondato su rilievi visivi; tale metodologia di analisi è presente in letteratura, ma effettuata con metodologie prettamente classiche, come visite ispettive di personale tecnico: la ricerca è orientata ad introdurre una componente di innovazione anche in questo senso sperimentando tecnologie performanti e in versione "Light" rispetto a sistemi di indagine ad alto rendimento presenti sul mercato ad una fascia medio alta per costi e oneri computazionali.

La prima fase di analisi specialistica prevede la definizione degli standard operativi e dei criteri di valutazione al fine rendere affidabile e ripetibile il metodo, cercando di minimizzare la componente di soggettività che permea ogni valutazione basata su analisi umana o semiautomatica.

La prima attività consiste nella definizione di un Catalogo degli Ammaloramenti che comprende una casistica completa dei dissesti e una serie di criteri per la loro valutazione, funzionale alla standardizzazione delle procedure per la mappatura speditiva dei dissesti. Vengono identificati i criteri sui quali basare la valutazione dello stato della pavimentazione, all'interno di una nuova ottica di PMS Pavement Management System, che va oltre la valutazione economica, ma si affida anche a criteri di efficacia e di sicurezza; tale condizione impone la necessità di condurre un'analisi dettagliata degli ammaloramenti, delle loro caratteristiche e requisiti, e dell'incidenza che ognuno di essi esercita ai fini della sicurezza. Tale aspetto della ricerca può essere validamente supportato dall'impiego di nuove tecnologie per il rilievo di dati territoriali, con diversi livelli di approfondimento e dettaglio.

Il carattere di innovazione rispetto ai Cataloghi presenti in letteratura, è il tentativo di analizzare le correlazioni tra i dissesti e le cause che li hanno generati, ai fini di mettere in atto azioni di mitigazione più profonde e prevedere un'opportuna strategia di manutenzione anche in relazione all'evoluzione temporale dei fenomeni. La presenza di determinate tipologie di degrado sulla pavimentazione induce una variazione sui livelli di comfort e sicurezza per quanto concerne gli aspetti funzionali, e contemporaneamente può produrre un abbattimento delle caratteristiche di durabilità se si considerano gli aspetti strutturali.

In questa fase sono stati inoltre analizzati gli effetti che le diverse tipologie di degrado possono produrre sulla circolazione e sulle componenti del Sistema Strada.

Successivamente è stata realizzata una mappatura delle risorse informative atte a descrivere in maniera compiuta tutti gli aspetti che concorrono a descrivere le tipologie di dissesto e le cause esogene che possono essere ad essi correlati.

Parallelamente sono stati individuati gli indicatori di letteratura più idonei all'analisi, tra quelli legati ad ispezioni di materiale visivo.

**Attività 5: Analisi preliminare dell'hardware e metodologie di integrazione**

Tale attività presenta principalmente caratteristiche di ricerca applicata, industriale e sviluppo sperimentale poiché finalizzata ad acquisire nuove conoscenze specifiche e pratiche propedeutiche alla progettazione e sperimentazione di metodologie fondate sull'integrazione di strumenti hardware e software.

La prima fase di ricerca applicata è necessaria ad individuare metodologie di acquisizione ed elaborazione ad oggi presenti nel panorama delle best practices sul tema dell'analisi della pavimentazione stradale, fondate sia sull'utilizzo di strumenti di rilievo ad alto rendimento e sia con sistemi più specifici e puntuali, così da tracciare un quadro completo dell'offerta di hardware per corrispondere alle esigenze di rilievo. La mappatura di un panorama completo sulle tecnologie presenti sul mercato è un elemento strategico a supporto della progettazione definitiva della metodologia oggetto della ricerca, soprattutto per quanto concerne la trasposizione della filosofia ad elevata produttività ma ad oneri economici e computazionali contenuti.

Nella successiva fase di ricerca industriale si realizza una mappatura degli strumenti hardware ritenuti compatibili con le esigenze del progetto di ricerca, sulla base della conoscenza acquisita nella fase di ricerca applicata, e attraverso il confronto con tutor e esperti del settore. Il principale obiettivo dell'attività è quella di valutare la compatibilità ed integrabilità di diversi sensori all'interno dell'architettura di un MMS, con particolare riguardo alla finalità di acquisizione di dati georiferiti in maniera speditiva, così da predisporre la successiva fase di test.

La componente di sviluppo sperimentale è evidente poiché come conclusione di questa fase si è effettuata una prima progettazione dell'architettura di sensori sulla base delle caratteristiche degli stessi,

della tipologia di rilievo e delle esigenze conoscitive alla base del progetto, così da giungere ad un ventaglio di alternative da testare operativamente durante il secondo semestre di ricerca nella fase a carattere più applicativo e sperimentale.

Attività 6: Analisi preliminare dei metodi di analisi immagine

Tale attività presenta caratteristiche di ricerca industriale e sperimentale finalizzata all'individuazione di metodologie software per il trattamento dei dati acquisiti ai fini dell'analisi delle condizioni della pavimentazione. La ricognizione effettuata ha evidenziato una maggiore presenza e utilizzo di tecniche di analisi di immagine per l'analisi estensiva di pavimentazione o utilizzo combinato con sistemi laser. Tale riflessione ha spostato l'attenzione della ricerca verso procedure e metodologie di Image Analysis applicata allo studio delle pavimentazioni stradali.

Lo scopo di questa attività è quello di creare una solida base conoscitiva per la scelta degli algoritmi di trattamento immagini più idonei al riconoscimento automatico o semiautomatico degli ammaloramenti presenti sulla pavimentazione. Tale fase è propedeutica alla successiva fase di individuazione di software di analisi immagine in grado di svolgere le elaborazioni necessarie, o prevedere lo sviluppo di strumenti specifici.

Durante il semestre è stata ritenuta interessante ai fini della ricerca la partecipazione da parte mia alla manifestazione di Asphaltica, tenutasi a Maggio 2014 presso la Fiera di Verona. Ho approfittato della possibilità di seguire Workshop specialistici sui temi della sicurezza stradale, particolare importanza quello che ha visto la partecipazione dell'ing. Polidoro, e quello sulle tecnologie di rilievo di dati ad alto rendimento, con focus sulle pavimentazioni stradali ed aeroportuali tenuto da Rodeco. La visita all'area espositiva ha rappresentato la possibilità di vedere le tecnologie più innovative nel settore del rilievo stradale, e confrontarmi direttamente con tecnici specializzati.

Altra attività ritenuta d'interesse sia sul versante universitario e sia di quello aziendale è stata la partecipazione al corso Barriere Stradali di Sicurezza, tenuto presso l'Ordine degli Ingegneri di Venezia in data 10 settembre, proprio per la vicinanza con i temi di ricerca. Nel corso dell'evento infatti è emerso il ruolo fondamentale di questi elementi ai fini della protezione degli utenti e la funzione di mitigazione di comportamenti sbagliati.

**Metodologie operative** (*Esporre le metodologie applicate in funzione delle attività da svolgere e dei contesti operativi di riferimento*)

Il primo semestre di ricerca ha visto una copiosa ricerca di base ed applicata, finalizzata alla creazione di un quadro di riferimento solido, di esperienze e buone pratiche sulle quali fondare le fasi più pratiche ed applicative. Sono state inoltre analizzate diverse applicazioni presenti in letteratura di particolare interesse sia per le tematiche trattate, poiché strettamente correlate con l'oggetto della ricerca e sia per l'innovativo contenuto tecnologico e metodologico. Tale bagaglio ha consentito di giungere alle fasi di progettazione della metodologia e alle prime fasi di sperimentazioni, che saranno il principale oggetto del secondo semestre di ricerca.

Attività 1: Scenario di riferimento e analisi dei fenomeni.

Lo scenario di riferimento sui temi della sicurezza stradale è stato costruito attraverso una fase di ricerca di base, che ha coinvolto in prima battuta aspetti puramente teorici circa i concetti di Rischio e Pericolosità declinati al tema della mobilità, definizione del "Sistema Strada" come insieme di agenti formanti un sistema complesso, nozioni sulle strategie di Road Management e i diversi approcci di analisi.

Il passo fondamentale è stata l'analisi del Sistema Strada, nelle diverse componenti uomo-veicolo-strada, le quali, grazie alle loro mutue interazioni, possono determinare il grado di sicurezza di un itinerario stradale. Letture particolarmente importanti in questa fase si sono rivelate le pubblicazioni di S. Canale, in primis "Progettare la sicurezza stradale- Criteri e verifiche di sicurezza per la progettazione e l'adeguamento degli elementi delle infrastrutture viarie: intersezioni, tronchi, sovrastrutture, gallerie, opere idrauliche, barriere sicurezza, illuminazione, segnaletica ed interventi di traffic calming, Edilizia, Quaderno per la progettazione, EPC Libri, Roma, 2009", e le pubblicazioni di E. Cascetta, come Cascetta E. et al, "Un approccio integrato per il miglioramento della sicurezza stradale: scenari, linee d'azione e proposte di ricerca", volume di 192 pp. pubblicato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche - Progetto Finalizzato Trasporti 2, ottobre 1999.

L'analisi di letteratura ha fatto emergere l'importanza del "fattore strada" ai fini dello studio della sicurezza stradale: essa rappresenta il piano di interazione dei diversi elementi poiché uomo-veicolo- macchina ed ambiente su di essa si incontrano ai fini della realizzazione della funzione di mobilità. Attraverso il suo stato manutentivo e funzionale la strada è in grado di influenzare la risposta meccanica del veicolo e quella psicologica e percettiva dell'utente. Ad avvalorare tale tesi riporto un passaggio di Canale: "il contesto all'interno del quale agiscono sia l'uomo che il veicolo, assume un'importanza strategica nell'influenzare sia la condotta di guida degli utenti (tramite i condizionamenti indotti dagli elementi geometrici sulla percezione del tracciato), sia le prestazioni dei veicoli (per effetto delle caratteristiche di aderenza, delle pendenze trasversali ecc)."

Lo studio dei metodi orientati alla sicurezza stradale è stato condotto analizzando in maniera critica le diverse teorie presenti in letteratura: si possono infatti individuare due principali filoni, l'uno si concentra su l'analisi di prestazione della sicurezza della strada e l'altra ha uno stampo prettamente legato all'analisi incidentale. Si è scelto di attingere maggiormente dal primo filone proprio perché pone al centro lo studio delle caratteristiche della strada e degli effetti che le sue condizioni muovono negli altri elementi de sistema, attingendo a concetti di Design Consistency, che legano le caratteristiche della strada alla risposta comportamentale dell'utente e la teoria omeostatica, fa del fattore umano il suo principale oggetto analisi.

Una parte importante della fase conoscitiva è rappresentata dall'analisi degli orientamenti legislativi e delle buone pratiche in materia di Road Safety: determinate è stata l'analisi della Direttiva CE 2008/96/CE, successivamente recepita nel nostro Paese come "Linee Guida in materia di sicurezza Stradale" che pone l'accento sull'importanza della conoscenza struttura a ed integrata delle caratteristiche dell'infrastruttura, orientata alla sicurezza, e sull'importanza che Nuove Tecnologie le ICT possono giocare ai fini di un reale miglioramento generale della mobilità.

Attività 2: Definizione destinatari e esigenze

Al fine di creare uno strumento funzionale al miglioramento della sicurezza stradale si è posta la necessità di analizzare i soggetti che a vario titolo hanno a che fare con il tema della sicurezza stradale e che conseguentemente esprimono delle esigenze conoscitive che possono migliorare la loro funzione di mobilità.

L'analisi ha previsto in prima battuta l'individuazione delle due principali categorie:

- Portatori di diritti: soggetti che esercitano il diritto allo spostamento in maniera sicura come fruitori dei servizi ma che non esercitano potere decisionale diretto. In linea generale sono identificabili con tutti gli utenti privati della strada.



## IL FONDO SOCIALE EUROPEO NEL VENETO

Più soi, più voil

- Portatori di responsabilità: soggetti che ricoprono un ruolo attivo nei processi decisionali e gestionali della sicurezza stradale e legati ad un ruolo di responsabilità. Sono identificabili in Enti, concessionari e gestori delle infrastrutture, Polizia locale e Forze dell'ordine, Operatori industriali del settore, Enti di monitoraggio e Società di servizi, Professionisti ed Aziende.

Successivamente è stata eseguita per entrambe le categorie un'analisi multiattoriale, anche sulla base di esperienze pregresse e panel, finalizzata all'individuazione le specifiche funzioni degli attori individuati e le loro esigenze conoscitive, mediante la costruzione delle matrici Attori/Funzioni/Esigenza conoscitiva. Il metodo di lavoro è quello di associare ad ogni attore le relative funzioni sul tema della sicurezza e le esigenze conoscitive che ne derivano. Uno schema delle relazioni individuate è riportato in Allegato, Figura 1.

### Attività 3: Progettazione preliminare della metodologia

La progettazione preliminare della metodologia è stata frutto dell'analisi di casi studio ed esperienze in materia di Road Safety. In particolare l'attenta analisi critica delle schede di rilevazione contenute nella norma di riferimento sul tema ("Linee Guida in materia di sicurezza Stradale", D.lgs n. 35/2011, Dir. 2008/96/CE), ha consentito di definire gli elementi principali da indagare ai fini della caratterizzazione di un itinerario stradale. L'elemento di innovazione che emerge da tali riferimenti è stato trasferito anche al presente contesto di ricerca: il rapporto tra utente e ambiente stradale in termini di sicurezza diviene un elemento di fondamentale importanza nelle fasi progettuali.

E' stato possibile, sempre sulla base di analisi di letteratura di settore, tracciare una mappatura delle piattaforme hardware e degli strumenti software, più idonei allo scopo dell'analisi delle caratteristiche stradali. L'indagine è stata condotta con l'ipotesi di base di doppio binario, ovvero la possibilità di individuare un duplice livello di approfondimento, finalizzato a corrispondere alle diverse dimensioni gestionali della rete stradale, definendo così le strumentazioni e le metodologie di analisi è più adatte. A tale proposito sono state valutate tecnologie diverse, tra le quali hanno prevalso quelle che consentono l'acquisizione di immagini in modalità cinematica, compreso il segmento di rilievo laser cinematico: tali metodologie sono del tutto compatibili con le finalità di indagine, in termini di accuratezza e precisione sull'informazione finale, in oltre la tecnologia Mobile Mapping non introduce elementi di rischio per le correnti di traffico in fase di rilievo.

L'attività di progettazione ha visto molti momenti di confronto diretto con l'azienda partner e con i tutor accademico e aziendale, in un rapporto di collaborazione e condivisione di esperienze e conoscenza, particolarmente proficuo per la ricerca in atto. Il confronto diretto con esperti del settore in occasione di eventi e convegni, ha consentito di operare con maggiore coscienza le decisioni più operative alla base della scelta dei principali temi da assumere per la sperimentazione complessiva e per le tecnologie da prediligere. Uno schema riassuntivo delle fasi principali del metodo è riportato in Allegato Figura 2.

### Attività 4: Definizione degli standard e dei criteri

Il Catalogo degli Ammaloramenti realizzato è frutto dell'integrazione delle diverse fonti bibliografiche analizzate, avendo cura di scegliere le tipologie di degrado che hanno effetti più evidenti rispetto agli obiettivi dell'analisi e che presentano una frequenza più alta sulla rete viaria nel nostro Paese, soffermandosi particolarmente sul caso delle pavimentazioni flessibili, che rappresentano la quasi totalità delle strade .

- C.N.R. - Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale (CNR 1986);
- S.E.T.R.A. - Entretien preventif du reseau routier national
- R.D.D.H.D. - Catalogue of road defects
- S.H.R.P. - Distress identification manual for the long-term pavement performance project
- VSS - Norme Suisse Catalogue des degradation.
- Regione Lombardia – Catalogo dei dissesti delle pavimentazioni stradali

In tutti i Cataloghi dei dissesti viene valutato lo stato della pavimentazione sulla base di analisi di un repertorio fotografico: i tecnici analizzano le caratteristiche del degrado e forniscono una classificazione in relazione al livello di gravità del dissesto, una quantificazione riferita all'estensione, avvalendosi al massimo di poche misure con mezzi semplici e speditivi in fase di rilievo. In pochi casi appare una valutazione di tipo qualitativo circa la possibile evoluzione temporale del degrado e l'analisi delle cause che lo hanno provocato, mentre nessuna delle fonti analizzate presenta valutazioni circa l'influenza di ciascun dissesto in relazione alla sicurezza e al comfort, e sia in termini di riduzione della vita utile della pavimentazione, limite che la presente ricerca cerca di superare attraverso l'integrazione di diverse fonti informative.

Le caratteristiche prese in considerazione nell'analisi sono le seguenti:

- Descrizione generale dell'ammaloramento





# IL FONDO SOCIALE EUROPEO NEL VENETO

Più soi, più voil

- Gravità del degrado : Bassa , Media, Alta
- Espressa in funzione di aspetti caratteristici del degrado e definizione di appositi criteri e soglie. A ciascun livello è associato un possibile intervento di ripristino del livello di esercizio.
- Cause del degrado ed interventi specifici
  - Caratteristiche del degrado quali:
    - Dimensione caratteristica e forma: spesso i degradi presentano delle forme facilmente riconoscibili e delle dimensioni tipiche.
    - Posizione sulla carreggiata: i degradi possono essere associati a particolari aree della sede stradale, condizione legata anche alle cause che li generano.
    - Strati interessati: i diversi degradi possono presentare i loro effetti su uno o più strati del pacchetto che forma la pavimentazione.
    - Altri aspetti analizzati riguardano
    - Modalità di misura: i degradi possono essere areali o lineari, e per ognuno è definito la modalità di computo.
    - Evoluzione: ogni degrado presenta un cambiamento nel tempo che può semplicemente progredire in termini di gravità, o può degenerare in tipologie di degrado più gravose. Tale evoluzione è frutto dell'interazione di diversi fattori.
    - Effetti: i degradi possono produrre effetti negativi su aspetti di sicurezza, comfort e durabilità della pavimentazione.
    - Tecnica di rilievo: dall'analisi condotta si suggeriscono le metodologie di rilievo speditive ed alto rendimento che al meglio possono corrispondere alle esigenze informative
    - Accuratezza: rappresenta l'ordine di grandezza necessario per acquisire le informazioni necessarie, in relazione alla tipologia di rilievo.
- Tale caratterizzazione è stata condotta per 23 tipologie di ammaloramenti ritenute fondamentali ai fini della definizione della metodologia:
- Fessurazione a Ragnatela (alligator cracking): fessure interconnesse a formare una maglia piuttosto frastagliata ed irregolare;
  - Fessurazione a Blocchi (block cracking): fessure longitudinali e trasversali a maglia, con direzioni prettamente ortogonali;
  - Fessurazione di Bordo (edge cracking): fessure longitudinali e trasversali a maglia, con direzioni prettamente ortogonali;
  - Fessurazione Longitudinale e Trasversale (longitudinal e transverse cracking)
  - Fessurazione da Richiamo (Joint reflection cracking)
  - Fessurazione da Scorrimento (slippage cracking)
  - Risalti e sacche (Bumps and sags)
  - Ormaiamento (rutting)
  - Depressioni lungo la traccia ruote
  - Ondulazioni (corrugations)
  - Buche (potholes)
  - Rigonfiamenti (swell)
  - Scalinamento tra corsia e banchina (lane/shoulder drop off)
  - Spostamento del manto per spinta orizzontale (shoving)
  - Essudazione bitume (bleeding) strato scivoloso che si forma in superficie
  - Levigatura aggregato (polished aggregate)
  - Scagliatura della superficie (raveling)
  - Usura superficiale
  - Distacco strato usura
  - Rappezzi (patching-utility cut patching)
  - Attraversamento binari (railroad crossing)
  - Chiusini con avvallamenti e dissesti
- Tali difetti sono stati organizzati in categorie principali, in accordo con la letteratura di riferimento :
- Fessurazioni
  - Deformazioni plastico-viscose
  - Difetti superficiali
  - Altri danni

La sintesi della caratterizzazione dei diversi ammaloramenti è riportata in Allegato Figura 3



L'analisi di letteratura di riferimento, con particolare riferimento ai temi della Smart Mobility e Road Safety Review e il confronto con esperti del settore hanno consentito di identificare i nuovi principi alla base di un innovativo sistema di PMS, cioè sicurezza, comfort e durabilità.

Per identificare l'influenza dei diversi tipi di ammaloramenti sui principi identificati si è effettuata una analisi in due step: in prima battuta si è analizzato il rapporto tra i principi scelti alla base del nuovo paradigma di PMS e i requisiti prestazionali principali da valutare sulla pavimentazione, in linea con quanto previsto nella ASTM E 1777-96. La norma individua i seguenti requisiti:

- **Aderenza:** rappresenta la capacità di garantire un adeguato contatto pneumatico pavimentazione, condizione indispensabile per la stabilità e sicurezza del veicolo. Le tipologie di ammaloramento che esercitano maggiore influenza sulle condizioni di aderenza riguardano le caratteristiche superficiali della pavimentazione, con particolare attenzione quelle che alterano la macro rugosità dello strato di usura.

- **Regolarità:** rappresenta la misura qualsiasi della deviazione del profilo reale di un tratto di pavimentazione da un profilo ideale, ad esempio una linea retta. Essa è particolarmente legata allo stato strutturale della pavimentazione. Essa risente principalmente della presenza dei seguenti degradi: Deterioramento superficiale, Ondulazioni longitudinali, depressioni localizzate.

- **Deflessione:** è una caratteristica rappresentativa dell'omogeneità e della resistenza alle deformazioni di una sovrastruttura stradale. Esso rappresenta una misura della capacità portante del pacchetto di pavimentazione esistente attraverso una tipologia di analisi non distruttiva. Tale aspetto è fondamentale ai fini della durabilità della pavimentazione

- **Degrado superficiale:** racchiude tutte le deformazioni e le alterazioni della superficie stradale visibili, comprendendo quindi deformazioni, fessure, rappezzi e riparazioni, e altre fonti di danno che possono essere sia indipendenti, o la manifestazione in superficie di degradi che interessano gli strati più profondi della pavimentazione. Tale aspetto è determinante nella valutazione del livello di sicurezza e comfort.

Tale analisi ha consentito di mettere in relazione le caratteristiche prestazionali richieste dalla pavimentazione con i principi secondo i quali il metodo deve fornire valutazione, come riportato in Allegato Figura 4.

Il passo successivo è stato effettuare il collegamento finale delle caratteristiche prestazioni dei dissesti, così da definire i livelli di influenza ed i rispettivi pesi, al fine di strutturare una rappresentazione sintetica finale. Analogo procedimento ha portato ad evidenziare gli effetti che i diversi dissesti producono sulla circolazione e sui diversi elementi del Sistema Strada, come sintetizzato nelle figure dell' Allegato Fig. 5-6-7.

Altro aspetto innovativo ha riguardato l'analisi delle cause che conducono alla presenza dei dissesti: a seguito del riconoscimento dei degradi presenti e l'appartenenza alle diverse categorie è possibile effettuare una approssimata valutazione delle possibili cause sulla base della contemporaneità di quei degradi che sottendono le medesime cause potenziali, sfruttando quindi una impostazione di tipo probabilistico, come riportato in modo schematico in Allegato , FIGURA 8.

Successivamente è stata compiuta un'analisi degli indici disponibili in letteratura con particolare riguardo a quelli che meglio si prestano ad analisi di tipo visivo. La sintesi dell'analisi compiuta è riportata in Allegato, FIGURA 9

Attività 5: Analisi preliminare dell'hardware e metodologie di integrazione

La fase di ricerca è stata condotta mediante una folla literature review di testi scientifici, concentrando particolarmente l'attenzione su sistemi di acquisizione stradali in modalità cinematica, basati su immagini e nuvole di punti (3D e 2D) da cui desumere le caratteristiche dell'infrastruttura stradale, con focus specifico in questo caso sul piano viabile con lo scopo di costruire il Road Pavement Model.

L'analisi ha condotto ad individuare architetture tecnologiche particolarmente performanti dal punto di vista del rendimento ed accuratezza, da declinare ad una scala più "Light", come nel caso del sistema LCMS Laser Crack Measurement System di Pavemetric (<http://www.pavemetrics.com/en/lcms.html>) che ha fornito importanti spunti di riflessione. In Allegato di riporta lo schema dell'architettura, Figura 10.

A partire da tale esperienza si è passati all'analisi critica delle tecnologie di acquisizione più rispondenti alle esigenze del progetto sotto il punto di vista dell'accuratezza e precisione, stanti i vincoli posti dall'analisi degli ammaloramenti, dell'integrabilità con sistemi di posizionamento e la compatibilità con la modalità di acquisizione cinematica e la scelta di collocarsi su una fascia più economica a leggera di rilievo.

Ispirandosi alla metodologia di analisi di Pavemetric si è cercato di trasporre tale approccio ad una scala di dettaglio inferiore, facendo lo sforzo di individuare le tecnologie plausibili per la progettazione e realizzazione della metodologia. A tale scopo sono state analizzati i datasheet di diverse tipologie di

sensori video, siano camere lineari o camere areali, prestando particolare attenzione a caratteristiche quali:

- Tipo di sensore
- Risoluzione
- Pixel size,
- Focale
- Frequenza acquisizione

Al fine di individuare le migliori condizioni di rilievo per l'analisi estensiva della pavimentazione sono state valutate, in relazione alle tipologie di camere e le dimensioni tipiche di veicoli stradali utilizzati per il rilievo, le migliori caratteristiche geometriche dell'architettura sensoriale, quale numero ed inclinazione delle camere, sovrapposizione tra i fotogrammi altezza dei sensori da terra.

Operativamente si realizza una procedura basata su concetti base di fotogrammetria, georiferimento di dati, analisi immagine e tecniche di ricostruzione tridimensionale e conoscenza delle caratteristiche prestazionali di hardware (laser e video), che consenta di definire la strumentazione migliore e le tecniche di acquisizione in grado di corrispondere a pieno alle esigenze conoscitive alla base dell'analisi della pavimentazione. I criteri che guidano queste scelte riguardano sia i livelli di accuratezza e precisione legati al dettaglio, e sia a criteri di produttività ed economicità.

Per offrire una possibilità di integrazione e confronto con alta tecnologie e nell'ottica della modularità sono stati analizzati, in via preliminare, sensori laser sia tridimensionali, in grado di acquisire nuvole di punti georiferite 3D, e sia strumenti 2D, che realizzano scansioni lineari dello spazio. Sono state analizzate diverse nuvole di punti acquisite durante rilievi stradali in modalità elicoidale, rilevate a velocità compatibili con le condizioni di traffico normali. Analogamente sono stati analizzati rilievi con laser scanner 2D, impiegato a velocità operativa di deflusso, e sono state valutate le caratteristiche di accuratezza e precisione, prestando particolare attenzione alle caratteristiche di risoluzione angolare, tempo di rotazione del laser e interasse di scansione, accuratezza e precisione. In relazione alle caratteristiche dei sensori è stato possibile valutare le migliori configurazioni geometriche del sensore: risoluzioni dell'ordine centimetrica (1.-5 cm) si raggiungono ponendo il sensore ad un'altezza di circa 2 m, mentre la risoluzione migliora notevolmente nel caso in cui si diminuisce l'altezza di montaggio a circa 1 m da terra.

Il sensore a cui si è fatto riferimento per tale tipologia di analisi è il utm\_30lx, le cui caratteristiche principali sono riportate [http://www.sentekeurope.com/docs/PDF-2013/utm\\_30lx.pdf](http://www.sentekeurope.com/docs/PDF-2013/utm_30lx.pdf).

Attività 6: Analisi preliminare dei metodi di analisi immagine

La fase di analisi delle metodologie Image Analysis sono emersi due approcci principali che possono essere efficaci sul versante per l'indagine del mano stradale ai fini della gestione e della sicurezza: il primo è basato sull'analisi 2D, impiegando diversi algoritmi di post processing che consentono, sulla base di criteri cromatici, o morfologici, il riconoscimento di features che giacciono nel piano a cui sono associate le caratteristiche (geometriche o cromatiche) dei dissesti più frequenti e facilmente riconoscibili. Tale metodo è più indicato per individuare i dissesti caratterizzati da una scarsa influenza della componente in quota (fessure a coccodrillo, longitudinali e trasversali), e potrebbe risultare particolarmente efficace in analisi di tipo preliminari e speditive, orientate ad analisi di tipo qualitativo e poco accurate (ordine di accuratezza 1-5 cm). Gli stessi algoritmi possono produrre ottimi risultati lavorando su immagini caratterizzate da risoluzione elevata, per identificare lesioni dell'ordine del millimetro.

Il secondo approccio ipotizzato è di tipo tridimensionale, e si avvale di tecniche di restituzione stereoscopiche per la ricostruzione di modelli 3D della pavimentazione. Tale metodo necessita di elevate performance del sistema di acquisizione immagini, proprio per garantire una buona accuratezza sul modello tridimensionale ricostruito con tecniche di Dense Image Matching, soprattutto per quanto riguarda la componente in quota. Tale via risulta abbastanza onerosa in termini economici e computazionali, risultando più adatta a indagini puntuali caratterizzate da maggiore accuratezza, più adatte ad una fase di indagini specialistiche.

Soprattutto per quanto riguarda l'analisi della componente in quota si è analizzato il metodo della triangolazione laser, che sulla base dell'analisi da immagine della distorsione di un target laser sulla pavimentazione, a seguito di calibrazione, permette di ricostruire il profilo della pavimentazione.

E' evidente che l'onere computazionale ed economico dietro le diverse metodologie è diverso: lo scopo dell'analisi è quello di valutare che livello di dettaglio è raggiungibile con le diverse tecniche e la strumentazione hardware a disposizione o appartenete al segmento del low cost, commisurata alle finalità di indagine della pavimentazione stradale ai fini della gestione e della sicurezza stradale.

Operativamente ai fini dell'applicazione di per la costruzione di modelli 2D e 3D della superficie della pavimentazione stradale fine si sono acquisite nozioni specialistiche sui seguenti temi ( che saranno completati nel corso del secondo semestre, soprattutto nella fase di sperimentazione):

- Fotogrammetria: il fine è quello di rendere l'immagine metrologicamente valida, mediante operazioni di calibrazione dei sensori video e procedure di rettifica al fine di abbattere degli eventuali effetti di distorsione propri del sensore.
- Stereoscopia: il fine è quello della creazione di modelli 3D della superficie della pavimentazione da coppie di immagini. L'aspetto più importante da valutare consiste nel confronto con strumentazione laser per l'acquisizione della terza dimensione.
- Algoritmi e tecniche di analisi di immagine: dalle più semplici basate sull'analisi dei livelli di grigio dagli istogrammi, fino a strumenti più complessi quali analisi morfologiche sulle fessure.

Parallelamente è stata iniziata la mappatura di strumenti software esistenti, cercano di valutarne l'applicabilità al caso specifico; è da poco iniziata una sperimentazione con il software Ecognition (<http://www.ecognition.com/>) per l'analisi di immagini nadirali. Si tratta di un primo approccio per valutare l'applicabilità dei diversi algoritmi di trattamento immagine analizzati.

### **Risultati** (Indicare i risultati attesi rapportati agli obiettivi della ricerca)

Attività 1: Scenario di riferimento e analisi dei fenomeni.

Frutto della prima fase è la costruzione di uno scenario di riferimento in materia di Road Safety che in prima battuta fa chiarezza sugli aspetti che compongono il tema della Sicurezza Stradale, e poi si allarga abbracciando gli aspetti metodologici, legislativi e l'analisi delle buone pratiche.

Tale quadro mette subito in luce una diffusa carenza manutentiva e inadeguatezza gestionale della rete stradale, condizione che produce un notevole abbassamento degli standard di comfort e sicurezza per gli utenti della strada.

L'analisi delle teorie di analisi in materia di sicurezza offerta dalla copiosa letteratura di settore, e la riflessione sul contributo del nuove tecnologie disponibili e l'innovativa ottica ispirata ai principi di Safety Review indirizzano verso un approccio preventivo come ottica alla base della metodologia oggetto di ricerca. L'utente e l'elemento stradale diventano il criterio e l'oggetto dello studio: l'infrastruttura deve avere caratteristiche tali da mitigare le cause di errore dell'uomo alla guida, condizione non raggiungibile prescindendo da una corretta gestione e manutenzione del patrimonio stradale. L'innovazione infatti passa attraverso la conoscenza poiché l'analisi e lo studio delle condizioni attuali porta alla identificazione di cause di insicurezza espresse e potenziali, con l'obiettivo di un generale abbattimento dei livelli di rischio e ottimizzazione della gestione del patrimonio stradale.

Attività 2: Definizione destinatari e esigenze

L'analisi degli attori e delle loro funzioni ed esigenze ha messo in evidenza la trasversalità del tema e i differenti ruoli che i diversi soggetti svolgono rispetto al tema della mobilità sicura. Dall'analisi risulta che i loro contributi alla sicurezza sono diversi soprattutto per livello di coinvolgimento e coerenza: ogni attore può farsi portatore di buoni comportamenti in mobilità ma solo alcune categorie possono giocare un ruolo attivo nei processi decisionali.

Le funzioni che maggiormente influiscono sulla mobilità sicura riguardano gli aspetti di gestione e manutenzione della rete stradale, soprattutto per quanto riguarda le fasi analitiche e conoscitive dello stato funzionale dell'infrastruttura stradale. Avere a disposizione una conoscenza aggiornata, estensiva ed adeguatamente specifica in relazione ai fenomeni in atto, consente di mettere in atto azioni di mitigazione preventive e una gestione più efficace dell'intero patrimonio stradale.

Contemporaneamente non devono venire meno funzioni di sensibilizzazione e diffusione di una innovativa cultura della sicurezza stradale, basata sulla partecipazione e responsabilizzazione di tutte le categorie di utenze stradali.

Dall'analisi emerge che i principali destinatari di sono individuabili negli Enti proprietari o Gestori di strade, con l'obiettivo di corrispondere alla sua necessità di gestire al meglio il patrimonio stradale di propria competenza, ai fini di garantire standard di sicurezza e comfort adeguati a tutti gli utenti, attraverso un programma di manutenzione efficace e specifico.

Tali soggetti i presentano la necessità di conoscere lo stato manutentivo dell'infrastruttura stradale e il livello di funzionalità offerto, con particolare riguardo a quegli aspetti che hanno un evidente impatto sulle condizioni di sicurezza. Tale conoscenza è propedeutica alla progettazione di piani manutentivi e strategie di intervento necessarie ad una più efficace gestione della rete.

Attività 3:Progettazione preliminare della metodologia

La metodologia progettata prevede delle fasi di approfondimento successive, finalizzate ad una conoscenza profonda dei fenomeni in atto e della loro evoluzione temporale, ai fini della predisposizione di piani di

intervento efficaci e finalizzati alla mitigazione delle cause di rischio per la mobilità. La fase di progettazione della metodologia ha portato alla individuazione delle seguenti fasi :

- Identificazione e classificazione del degrado attraverso integrazione di metodologie classiche ed innovative di rilievo ed analisi;
- Analisi dello scenario delle possibili cause;
- Formulazione della metodologia di analisi, comprendendo fasi di progettazione ed eventuali esecuzioni di rilievi integrativi specifici;
- Analisi della rilevanza dell'ammaloramento rispetto ai parametri di riferimento, in considerazione della sua evoluzione temporale e tipologica;
- Valutazione delle alternative di intervento e della strategia più efficiente in relazione ai criteri indicati.

Uno schema delle fasi operative è riportato in Allegato FIGURA 11

Il metodo, sulla base di considerazioni di carattere tecnico e statistico in merito alle condizioni strutturali dell'infrastruttura e in relazione alla storia incidentale pregressa, evidenzia le criticità espresse e potenziali presenti sulla rete e il loro livello di degrado, valutando anche la componente di danno su persone e cose ad esse connesse, al fine di individuare una classifica di priorità e gli interventi manutentivi necessari a ripristinare soglie accettabili di sicurezza e comfort.

Altro risultato fondamentale per il raggiungimento di una efficace progettazione preliminare del metodo è stata l'individuazione degli aspetti che influiscono maggiormente sulla mobilità sicura, sia in relazione al loro peso sulla qualità strutturale dell'infrastruttura, sia valutando le interazioni negative tra l'elemento stradale coinvolto e gli altri addendi del Sistema Strada, quali veicolo d utente. Considerando inoltre l'attore principale a cui l'analisi è principalmente rivolta, cioè il Gestore stradale, si sono valutati quegli aspetti che da un lato rappresentano un'emergenza per la gestione della mobilità e dall'altro presentano il maggior rapporto costo benefici in termini di Road Management System.

Sulla base di tali considerazioni gli aspetti riconosciuti come indispensabili ai fini dell'analisi di sicurezza stradale sono:

- **Pavimentazione stradale:** rappresenta meccanicamente il punto di contatto tra piano viabile e veicolo, rivestendo un ruolo fondamentale ai fini della stabilità del veicolo e regolarità delle condizioni di marcia. Le sue condizioni influenzano sia gli aspetti meccanici e dinamici (la presenza di ammaloramenti estesi e gravi, come buche e dissesti del piano viabile può produrre sollecitazioni sul mezzo che possono inficiare la corretta marcia), e sia provocare alterazioni percettive nell'utente, conducendolo in frequenti errori di valutazione inficiando la corretta condotta di guida.
- **Segnaletica stradale (verticale ed orizzontale):** è un elemento fondamentale ai fini del meccanismo di guida che la strada esercita sull'utente, poiché, oltre alla geometria stradale, essa contribuisce alla funzione di condizionamento sull'utente, indirizzandolo verso comportamenti di guida congrui. L'aspetto da valutare consiste soprattutto nello stato manutentivo della segnaletica, leggibilità e congruenza del messaggio; funzione del gestore è quella di verificarne lo stato
- **Barriere e dispositivi di ritenuta:** la funzione principale di questi elementi è quella di contenimento e protezione dello spazio stradale dedicato alle diverse classi di utenze ( riferimento normativo EN 1317). Esse assolvono alla funzione di Forgiving Road, ovvero contribuiscono alla qualità dell'infrastruttura stradale di mitigare le conseguenze di comportamenti errati da parte dei guidatori, e quindi gli effetti stessi sulla salute degli utenti. Secondo la norma vigente la presenza di tali elementi, la loro tipologia e disposizione è fortemente legata alle caratteristiche funzionali della strada ( velocità di progetto , tipologia di strada, tipologia di traffico), condizioni che rendono la tematica difficilmente generalizzabile e dotata di riferimenti normativi impositivi solo per determinate categorie di strade ( con velocità di progetto superiore ai 70 km/h da EN 1317).
- **Protezione del corpo stradale:** tale aspetto riguarda principalmente le interazioni tra spazio stradale e ambiente circostante. Il fine è quello di rendere sostenibili le interazioni tra strada e fattori esogeni, soprattutto di origine naturale che esplicano i loro effetti sulle condizioni di viabilità. E' evidente che tale aspetto è strettamente legato alla percorribilità e alle condizioni ambientali in cui l'infrastruttura si inserisce, rendendo più complessa la creazione di una metodologia generale.

Sulla base di tali considerazioni si è ritenuto opportuno testare la metodologia al caso dell'analisi della pavimentazione stradale in relazione al suo sviluppo geometrico, sia per il carattere di urgenza legato a questo aspetto, sia per gli effetti che il suo stato manutentivo genera su tutte le classi di utenze. Inoltre, i fini dell'analisi e della definizione dei criteri, è possibile effettuare una classificazione di cause e tipologie di dissesti partendo da una buona base statistica.

Il contributo di innovazione della ricerca è dato dal fatto che ad oggi non esiste un metodologia di analisi

estensiva e speditiva della pavimentazione stradale, se non ricorrendo a tecnologie di rilievo ad alto rendimento ( Mobile Mapping System) spesso molto costose e legate a procedure di analisi e post processing molto complesse: la sperimentazione e le successive fasi di progettazione di dettaglio sono volte a trasporre tale filosofia ad una scala di dettaglio inferiore, con il fine di colmare il gap informativo sullo stato manutentivo della pavimentazione, anche per la viabilità minore.

Attività 4: Definizione degli standard e dei criteri

La costruzione del Catalogo degli Ammaloramenti ha consentito un primo passo verso la standardizzazione ed è un valido supporto per acquisire una caratterizzazione di dettaglio che consente successive analisi specifiche sulle cause e sulle evoluzioni. In allegato si riporta un prototipo delle schede del Catasto degli ammaloramenti e la tabelle elaborata per la costruzione dello stesso.

Sulla base di rilievi visivi, su materiali ottenuti prevalentemente da sistemi ad alto rendimento, è possibile valutare il legame esistente tra i diversi tipi di dissesto e gli effetti che essi generano sul livello prestazionale della pavimentazione e le conseguenze che essi producono sui tre temi principali quali sicurezza, comfort e durabilità. Tale analisi produce la possibilità di assegnare un sistema di pesi, i quali rappresentano il livello di influenza di ogni dissesto (o in un'ottica più semplice, in termini di categoria di dissesti), al fine di valutare lo stato manutentivo, l'ordine di priorità di intervento, sulla base dei diversi criteri posti alla base del metodo.

Inevitabilmente infatti la presenza di determinate tipologie di degrado sulla pavimentazione induce una variazione sui livelli di comfort e sicurezza per quanto concerne gli aspetti funzionali, legati all'esercizio della viabilità, e contemporaneamente può produrre un abbattimento delle caratteristiche di durabilità se si considerano gli aspetti strutturali. E' evidente che ogni tipologia di degrado avrà una influenza maggiore su alcune caratteristiche prestazionali e quindi altererà in maniera specifica uno o più principi, in relazione anche al livello di gravità ed estensione propri della situazione in atto. Uno schema delle relazioni ottenute tra prestazioni, principi e classi di degrado è riportato in Allegato FIGURA12.

I risultati delle valutazioni effettuate, sintetizzate in FIGURA 13, evidenziano come la Regolarità superficiale (trasversale e longitudinale) rappresenta un aspetto di fondamentale interesse perché legata ai principi di sicurezza, comfort e durabilità, alterandone in maniera evidente il livello, e sia perché è provocata da molteplici tipologie di ammaloramento.

L'aderenza è un requisito fondamentale ai fini della sicurezza, e risente in maniera particolare delle condizioni climatiche, come la presenza di acqua sulla pavimentazione, alterando sensibilmente il livello di rischio e comfort a cui l'utente è sottoposto. Tale requisito è funzione del grado di fessurazione della pavimentazione e della presenza di difetti superficiali.

La presenza di Degrado superficiale è direttamente correlata alla variazione dei livelli di comfort e secondariamente a quelli di sicurezza e durabilità; essa risulta generata da fessurazioni, difetti superficiali e altre tipologie di danno. La deflessione invece è una caratteristica legata alla presenza di deformazioni negli strati profondi della pavimentazione, correlata essenzialmente alla durabilità della pavimentazione, e quindi guidata da valutazioni di tipo prettamente economico.

Dalle considerazioni emerge la complessità della fenomenologia che determina l'esistenza di determinati prerequisiti prestazionali per la pavimentazioni: tipologie differenti di degrado contribuiscono allo stessa caratteristica prestazionale secondo meccanismi di influenza differenti, secondo gradi di incidenza funzione della gravità e dell'estensione.

Uno dei risultati dei prodotti dell'analisi è stata la determinazione, attraverso lo studio di fonti bibliografiche ed esperienze di studio analoghe, dei legami tra dissesti, requisiti prestazionali della pavimentazione, principi, cercando di stabilire rapporti di mutua incidenza tra gli elementi, al fine di fornire una prima strutturazione per i criteri di valutazione della PMS

Frutto dell'analisi è la valutazione degli effetti dei dissesti sugli elementi del sistema strada, come riportato nelle FIGURE 5-6-7.

Una importante riflessione riguarda il legame esistente tra i diversi tipi di dissesto e gli effetti che essi generano sul livello prestazionale della pavimentazione e le conseguenze che essi producono sui tre temi principali quali sicurezza, comfort e durabilità, come riportato in FIGURA 4.

Dalla fase di analisi degli indici presenti in è emerso che gli indicatori globali, specialmente quelli basti su indagini visive, sono utili per una valutazione speditiva sull'intera rete, sia ai fini della programmazione delle risorse e sia ai fini della progettazione di rilievi ed analisi più specifiche, ricorrendo al metodo empirico meccanicisti o deterministici. Ai fini dello sviluppo del metodo si ritengono fondamentali il PCI, e I1 e UCI indici molto speditivi, e l'innovazione per queste tipologie di indicatore consiste nell'analizzare repertori fotografici piuttosto che effettuare visite in loco, individuando le tecnologie hardware e software più adatte allo scopo, tendendo se possibile all'automatizzazione delle procedure poiché essi richiedono essenzialmente solo dati immagine.

Allo stesso modo indicatori più specifici quali il PCR e il PSI richiedono indagini più dettagliate, coinvolgendo

anche misure di profilo longitudinale e trasversale: anche in questo caso è necessario individuare tecnologie e metodologie in grado di assicurare i dati necessari alla costruzione degli indici.

Aumentando il livello di dettaglio richiesti indici specifici come IRI o altri possono essere costruiti sulla base di specifiche attività di rilievo, tuttavia tali sistemi di valutazione presuppongono analisi e prove onerose, scarsamente affrontabili dalle diverse amministrazioni. Una sintesi degli indici scelti è riportata in Allegato, Figura 9.

Attività 5: Attività 5: Analisi preliminare dell'hardware e metodologie di rilievo ed analisi

L'attività di analisi preliminare dell'hardware e delle metodologie di integrazione ha condotto ad identificare le caratteristiche da corrispondere in termini di architettura di sensori, per il soddisfacimento della domanda conoscitiva necessaria all'analisi dello stato manutentivo della pavimentazione. I principali sistemi individuati si basano su acquisizione mobile, dotati di sensori video (camere areali o lineari) eventualmente integrati con sensori laser, con particolare interesse verso sistemi a basso costo e 2D, da utilizzare in contesti di indagine specifici.

Riflettendo infatti su uno degli elementi distintivi della ricerca, e cioè sulla possibilità di declinare la filosofia del Mobile Mapping stradale con focus sull'analisi della pavimentazione in versione light e low cost, sono emerse le seguenti considerazioni che motivano l'orientamento della ricerca soprattutto sul versante video:

Un approccio basato sull'impiego di sensori video e successiva analisi del patrimonio di immagini garantisce la possibilità di organizzare la metodologia secondo diversi livelli di approfondimento variando sia le tipologie di sensore e sia definendo diverse modalità di elaborazione, così da assicurarsi una maggiore possibilità di corrispondere alle esigenze presentate dai diversi stakeholder.

Una metodologia fondata su strumentazione video presenta una maggiore semplicità di progettazione ed utilizzo, scalabilità in funzione delle diverse applicazioni di censimento su base di analisi fotogrammetrica. A livello tecnologico tali sensori si rivelano meno sensibili alle vibrazioni indotte dal moto, rispetto ad altri sistemi di acquisizione.

Per livelli di analisi più approfonditi la tecnologia video consente di spingersi al livello di dettaglio millimetrico, utilizzando camere ad alta risoluzione, con la possibilità di estendere l'acquisizione su aree abbastanza ampie della sede stradale.

Lavorando su algoritmi specifici è possibile ottenere livelli di contrasto ottimali al fine di enfatizzare gli aspetti sottoposti ad analisi, anche a partire da immagini che non presentano caratteristiche ottimali causate da condizioni di presa mediocri. Tale aspetto risulta fondamentale ai fini dell'affidabilità e economicità del metodo.

I sistemi di analisi laser consentono una grande accuratezza in modalità statica, del tutto idonei a cogliere le dimensioni millimetriche dei degradi, specialmente nel caso di analisi a brevissima distanza. Contemporaneamente l'onerosità in termini di tempi e costi di restituzione rende tale segmento di rilievo particolarmente idoneo a porzioni delimitate di rete stradale, che necessitano di approfondimenti maggiori, altrimenti la degradazione della nuvola riconduce a livelli di accuratezza comparabili con sistemi più leggeri. Sistemi laser 2D consentono acquisizioni più speditive, ma è necessario valutare la loro efficacia combinati con acquisizioni laser.

Operativamente si è effettuato il progetto di diverse configurazioni di sensori per una metodologia di rilievo di tipo estensivo: per l'analisi dei dissesti per i quali la componente di profondità non ha una grande rilevanza, (secondo quanto emerso dal Catalogo degli Ammaloramenti), si opta per un'analisi planimetrica in cui la presa delle immagini è prevalentemente nadirale, effettuata con un numero di camere sufficiente a garantire la presa completa della corsia e un buon grado di overlapping, caratteristiche scelte in funzione della geometria del veicolo, frutto di valutazioni che si basano su principi di analisi fotogrammetrica e analisi della tipologia di rilievo. In Allegato 2 un esempio di progetto di rilievo.

Per quanto riguarda i dissesti per i quali la componente altimetrica è fondamentale, e fissata una soglia minima di dislivello tale da generare effetti reali sulle condizioni di comfort e di sicurezza (verosimilmente centimetrica): in questi casi si è valutato di testare una metodologia di indagine basata sul concetto della triangolazione laser, metodo principalmente utilizzato in campo industriale per le verifiche di qualità in catena di montaggio. Tale tecnica valuta il dislivello in quota attraverso analisi della deformazione dell'immagine di un laser ottico sulla pavimentazione, acquisita da un sensore video. Lo schema di tale metodo di indagine è riportato in Allegato, FIGURA14.

Per quanto concerne l'analisi di metodologie di rilievo laser, dalle considerazioni fatte per la progettazione di rilievi preliminari (sulla base di analisi di letteratura e da esperienze pregresse) si è osservato che un'accuratezza centimetrica (1-3 cm) per rilievi a velocità di circa 50-70 km/h, genera condizione ai limiti di compatibilità con le esigenze dell'analisi delle pavimentazioni stradali, ma totalmente sufficienti alla ricostruzione dell'ambiente stradale. Tuttavia l'onere computazionale e procedurale sembra eccessivo rispetto all'esigenza di rilievo estensivo: vista il grande livello di dettaglio raggiungibile in modalità statica o a

velocità molto basse ( inferiore ai 30 km/h) è possibile raggiungere accuratezza di livello millimetrico, abbondantemente sufficiente alla caratterizzazione di dettaglio della pavimentazione.

Per quanto riguarda il sensore 2D, si è valutata l'opportunità di effettuare una campagna di rilievo con tale tipologia di sensore, avendo notato che la mole computazionale è compatibile con rilievi di tipo estensivo, e che le accuratezze rilevate possono garantire l'acquisizione di dislivelli della superficie della pavimentazione compatibili con dissesti di tipo grave (ordine di grandezza centimetrico).

La fase di progettazione preliminare dell'architettura tecnologica ha attualmente raggiunto un buon grado di sviluppo, anche se oltre a tipologie di camere consolidate, quali areali e lineari, si stanno valutando le caratteristiche di Smart cam (camere con processori integrati) e camere tridimensionali. Ad oggi sono in fase di esecuzione le prime campagne di rilievo frutto delle valutazioni di questa fase, e che condurranno alla valutazione dell'architettura finale.

Attività 6: Analisi preliminare dei metodi di analisi immagine

L'analisi di immagini finalizzate all'estrazione di informazioni circa le condizioni della pavimentazione superficiale presenta già da subito alcune limitazioni, a fronte però di una maggiore semplicità di esecuzione e di costi. Gli hardware di tipo video sono più semplici da utilizzare, più economici, spesso più stabili ma possono essere soggetti a disturbi nell'acquisizione. In primis va ricordato che sono diversi i fattori che possono ridurre, anche sensibilmente, la qualità dei prodotti e l'efficacia del metodo: si incorre spesso in falsi positivi sia a causa dell'influenza che condizioni ambientali ed atmosferiche possono giocare in fase di rilievo, sia per l'eterogeneità delle texture che caratterizzano le diverse tipologie di pavimentazione.

Frutto della fase di analisi delle tecniche di Image Analysis orientate alla valutazione delle condizioni manutentive della pavimentazione stradale, è una procedura che consta in una sequenza di fasi orientate ad ottimizzare l'estrazione delle informazioni dalle immagini acquisite.

Per facilitare la fase di analisi è stata prevista una prima fase di pretrattamento delle immagini che, attraverso specifici algoritmi, consente la predisposizione di un buon ambiente per procedere con l'estrazione delle feature che caratterizzano i pattern degli ammaloramenti.

Tale fase è orientata ad abbattere le seguenti problematiche frequentemente riscontrate in esperienze di analisi di immagine della pavimentazione:

- Eliminazione della distorsione: fase comune a tutti i processi di analisi di immagine che va a correggere, a partire dalla conoscenza dei parametri della camera (specialmente quelli interni) le distorsioni metrologiche legate al dispositivo.
- Eliminazione del rumore di fondo dalle immagini
- Eliminazione dei falsi positivi: giunti, segnaletica orizzontale e sigillature, rappresentano difetti della pavimentazione, ma rientrano nel primo stadio che non comporta interventi ma solo sorveglianza della pavimentazione. Se si analizzano fotogrammi su base cromatica molto spesso tali elementi possono essere confusi con ammaloramenti della pavimentazione
- Feature extraction: che produce una rappresentazione in termini di spazio immagine delle primitive alla base del processo di analisi immagini, sulla base di criteri specifici che caratterizzano i diversi algoritmi utilizzati. A tale scopo i sistemi più semplici analizzati sfruttano le condizioni cromatiche e geometriche per la segmentazione.
- Feature classification: sono procedure di analisi e classificazione in grado di distinguere, sulla base dei parametri agenti nei diversi algoritmi, gli elementi di interesse.

In linea generale l'Image Analysis consente il riconoscimento di particolari geometrie, dalle più semplici alle più complesse, nel piano e nello spazio, sulla base di algoritmi che operano delle scelte di identificazione, sulla base dei parametri assegnati, calibrati in relazione al tipo di pavimentazione, in maniera automatica o semiautomatica. L'operazione restituisce una rappresentazione (raster o vector) tematizzata della realtà secondo i criteri che l'algoritmo applica all'analisi, determinando, insieme alla tipologia e qualità del dato di input, l'efficacia e la complessità del un modello.

L'attività fin ora svolta ha portato alla identificazione di una serie di algoritmi da testare con procedure software esistenti, al fine di scegliere quelli che meglio corrispondono alle esigenze di indagine della pavimentazione.

Tale fase è ancora in corso di svolgimento perché legata all'acquisizione (ad oggi in corso) di immagini all'interno dei primi test con veicolo attrezzato.

**Sede di svolgimento dell'attività** (Riportare il luogo indicativo di svolgimento dell'attività)

Sedi Universitarie:

Unisky s.r.l. , Spin-off dell'Università IUAV di Venezia, Vega Parco Scientifico Tecnologico di Venezia, Palazzo Pegaso via delle Industrie 15, 30175 Porto Marghera (VE)

Università IUAV di Venezia, sede di Ca' Tron, Santa Croce 1957, 30135 Venezia (VE).

Sedi aziendali:

TPI ingegneria s.r.l. via XXXI Ottobre, 17, 32032 Feltre (BL)

LTS s.r.l., viale della Repubblica 209, 31100 Treviso

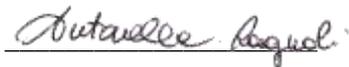
**Computo delle giornate lavorative**

	Presenze effettuate		Presenze rimanenti		Percentuale presenza effettuata su totale giorni (208.5)
	Giorni	Ore	Giorni	Ore	
<b>Iuav</b>	86.5	622.8	38.5	277	41 sul 60% prevista
<b>Azienda</b>	32.5	234	51	367	16 sul 40% prevista

Venezia 18/09/2014

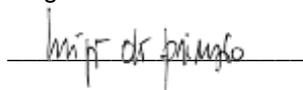
Firma del Destinatario

Ragnoli Antonella



Firma del Referente Universitario

Luigi Di Prinzio



**ALLEGATI**

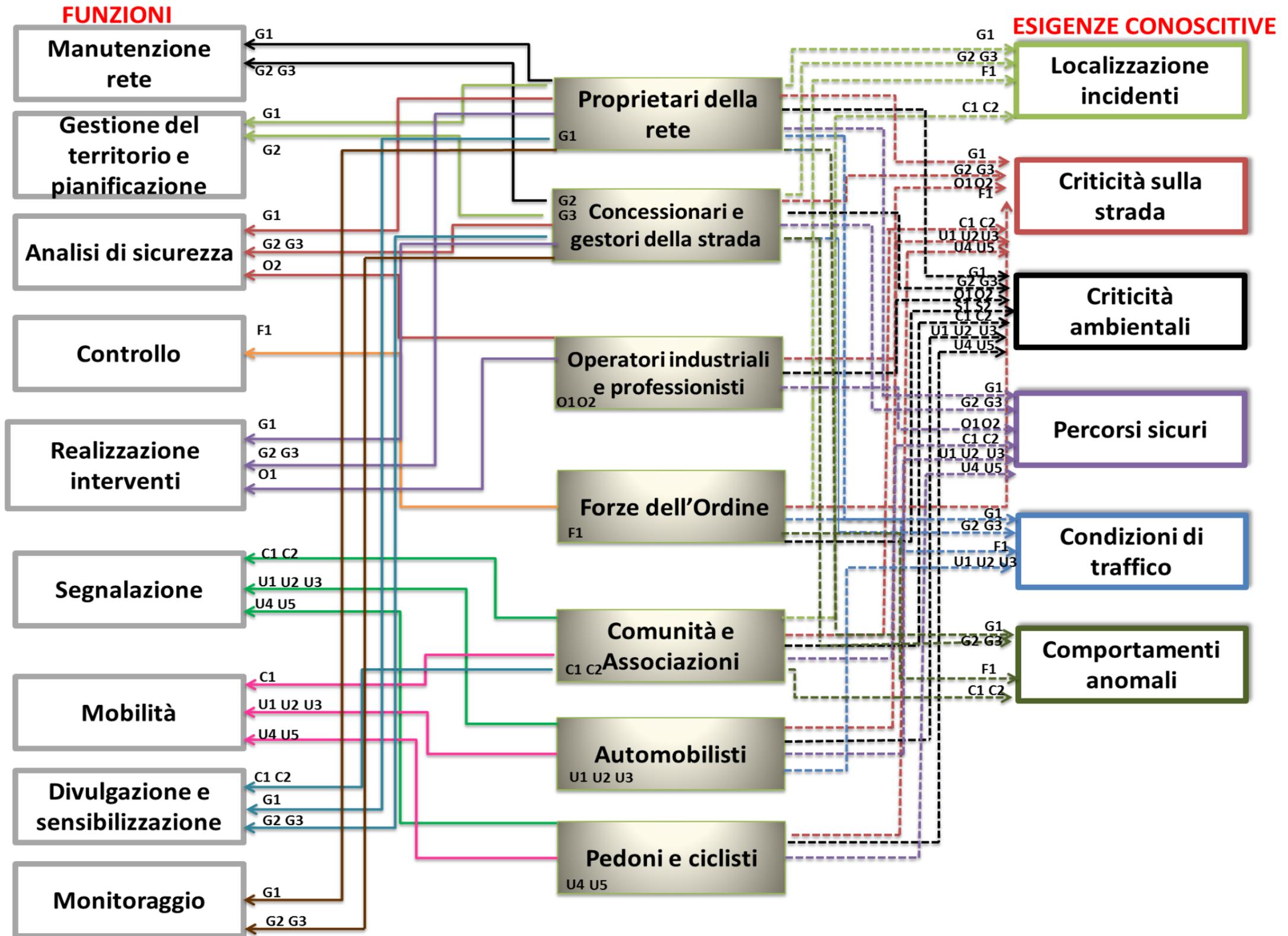


FIGURA 1: ANALISI ATTORI E LORO ESIGENZE E FUNZIONI



FIGURA 2: STRUTTURA METODOLOGIA PRELIMINARE

	Principi		
Prestazioni Pavimentazione	Comfort	Sicurezza	Durabilità
Aderenza	●	● ● ●	
Regolarità	● ● ●	● ●	●
Deflessione			● ●
Degrado superficiale	● ●	●	●

FIGURA 4: INFLUENZA DELLE PRESTAZIONI SUI PRINCIPI

AMMALORAMENTO		EFFETTI	
		Strada	Utente-Veicolo
Difetti superficiali	Essudazione bitume (bleeding)	Riduzione reale aderenza	Variazione traiettoria
	Levigatura aggregato (polished aggregate)		Perdita stabilità
	Scagliatura della superficie (raveling)		Maggiore consumo e rumore
	Usura superficiale		Perdita comfort
	Distacco strato usura		

FIGURA 5: ANALISI DEI DIFETTI SUPERFICIALI SUL SISTEMA STRADA

AMMALORAMENTO		EFFETTI	
		Strada	Utente
Fessurazione	Fessurazione a Blocchi (block cracking)	Riduzione reale aderenza	Perdita Comfort
	Fessurazione Longitudinale (longitudinal cracking)		Variazione traiettoria
	Fessurazione Trasversale (transverse cracking)		Perdita stabilità
	Fessurazione da Scorrimento (slippage cracking)		Sollecitazioni dinamiche

FIGURA 6: ANALISI DELLE FESSURAZIONI SUL SISTEMA STRADA

AMMALORAMENTO		EFFETTI	
		Strada	Utente
Deformazioni Plastico-viscose	Risalti e sacche (Bumps and sags)	Sollecitazioni dinamiche Acquaplaning	Perdita comfort Perdita aderenza su fondo bagnato
	Ondulazioni (corrugations)		
	Depressioni (depressions)		
	Buche (potholes)		
	Rigonfiamenti (swell)		
	Ormaiamento (rutting)	Riduzione reale aderenza	Acquaplaning Perdita Aderenza Sollecitazioni dinamiche

FIGURA 7: ANALISI DELLE DEFORMAZIONI PLASTICO-VISCOSE SUL SISTEMA STRADA

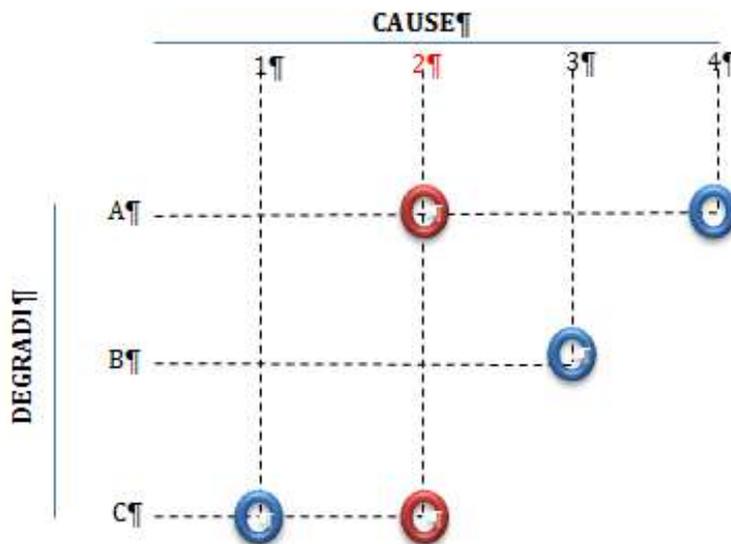


FIGURA 8: ANALISI DELLE CAUSE CON APPROCCIO PROBABILISTICO



FIGURA 10: VEICOLO MMS DI PAVEMETRIC

### Passi logici

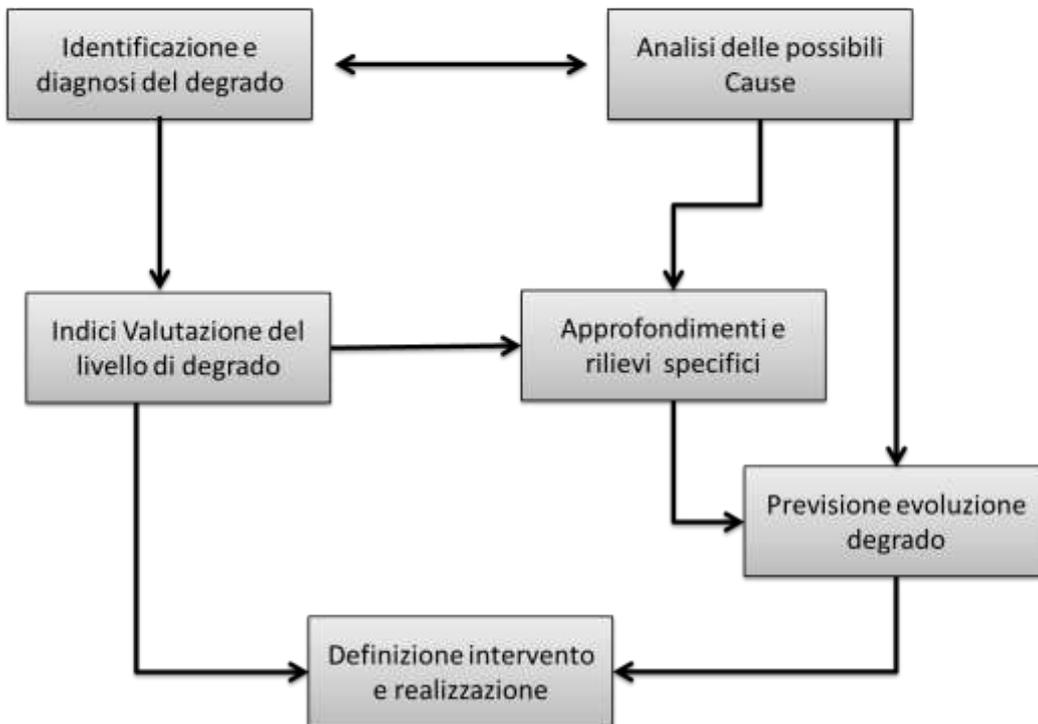


FIGURA 11: PASSI LOGICI DELLA PROCEDURA PRELIMINARE



FIGURA 12: RAPPORTO DEGRADO PRESTAZIONI PRINCIPI



# IL FONDO SOCIALE EUROPEO NEL VENETO

Più soi, più voil

	Effetto sulla circolazione	Principi	Prestazioni Pavimentazione			
			Aderenza	Regolarità	Deflessione	Degrado superficiale
<b>Fessurazione a Ragnatela (alligator cracking)</b>	Irregolarità profilo Instabilità Veicolo Infiltrazione Acqua	<i>Comfort</i> <i>Sicurezza</i> <i>Durabilità</i>	2	3	1	3
<b>Fessurazione a Blocchi (block cracking)</b>	Irregolarità profilo Instabilità Veicolo	<i>Comfort</i> <i>Sicurezza</i>	2	3	1	3
<b>Fessurazione di Bordo (edge cracking)</b>	Perdita comfort	<i>Comfort</i>	1	2	0	2
<b>Fessurazione Longitudinale (longitudinal cracking)</b>	Irregolarità profilo Instabilità Veicolo Infiltrazione Acqua	<i>Comfort</i> <i>Sicurezza</i>	3	3	1	2
<b>Fessurazione Trasversale (transverse cracking)</b>	Irregolarità profilo Instabilità Veicolo Infiltrazione Acqua	<i>Comfort</i> <i>Sicurezza</i>	2	3	2	2
<b>Fessurazione da Richiamo (Joint reflection cracking)</b>	Riduzione comfort Vibrazioni	<i>Comfort</i>	2	1	0	1
<b>Fessurazione da Scorrimento (slippage cracking)</b>	Irregolarità profilo Perdita Locale aderenza	<i>Comfort</i> <i>sicurezza</i>	2	1	0	2
<b>Risalti e sacche (Bumps and sags)</b>	Irregolarità superficie	<i>Comfort</i>	1	3	2	1
<b>Ormaiamento (rutting)</b>	Comfort Aderenza Acquaplaning	<i>Sicurezza</i> <i>Comfort</i> <i>Durabilità</i>	2	3	3	2
<b>Ondulazioni (corrugations)</b>	Riduzione comfort , Vibrazioni, Acquaplaning	<i>Comfort</i>	1	3	3	1
<b>Depressioni (depressions)</b>	Riduzione comfort , Vibrazioni, Ristagno Acqua	<i>Comfort</i>	1	3	3	1
<b>Buche (potholes)</b>	Vibrazioni Ristagno acqua	<i>Sicurezza</i> <i>Comfort</i> <i>Durabilità</i>	3	4	3	2
<b>Rigonfiamenti (swell)</b>	Vibrazioni Ristagno acqua	<i>Comfort</i>	1	3	2	1
<b>Scalinamento tra corsia e banchina (lane/shoulder drop off)</b>	Comfort	<i>Comfort</i>	1	2	0	0
<b>Spostamento del manto per spinta orizzontale (shoving)</b>	Comfort	<i>Comfort</i>	1	2	0	2
<b>Essudazione bitume (bleeding)</b>	Riduzione macrotessitura Riduzione Aderenza	<i>Sicurezza</i> <i>Comfort</i>	3	0	0	1
<b>Levigatura aggregato (polished aggregate)</b>	Riduzione macrotessitura Riduzione Aderenza	<i>Sicurezza</i>	3	2	0	2
<b>Scagliatura della superficie (raveling)</b>	Distacchi grani grossi Macrotessitura e perdita aderenza	<i>Sicurezza</i> <i>Comfort</i>	2	1	0	2
<b>Usura superficiale</b>	Usura superficiale e perdita aderenza	<i>Sicurezza</i> <i>Comfort</i>	3	2	0	2
<b>Distacco strato usura</b>	Perdita usura e macrotessitura	<i>Comfort</i> <i>Durabilità</i>	3	2	0	3
<b>Rappezzi (patching-utility cut patching)</b>	Riduzione di comfort Irregolarità	<i>Comfort</i>	1	2	0	3
<b>Attraversamento binari (railroad crossing)</b>	Riduzione di comfort Irregolarità	<i>Comfort</i>	1	2	0	3
<b>Chiusini con avvallamenti e dissesti</b>	Riduzione di comfort Irregolarità	<i>Comfort</i>	1	2	1	3



Unione europea  
Fondo sociale europeo



REGIONE DEL VENETO



INVESTIAMO PER IL VOSTRO FUTURO

INIZIATIVA COFINANZIATA DAL FONDO SOCIALE EUROPEO, NELL'AMBITO DEL PROGRAMMA OPERATIVO 2007-2013 DELLA REGIONE DEL VENETO



# IL FONDO SOCIALE EUROPEO NEL VENETO

Più soi, più voil

FIGURA 13: TABELLA DI SINTESI PER LA VALUTAZIONE DELLE INFLUENZE AI FINI DELLA CREAZIONE DI INDICI

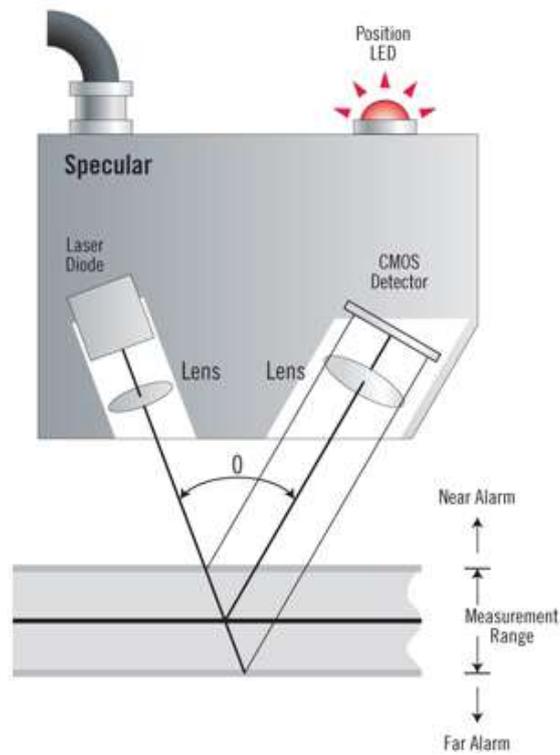


FIGURA 14: LASER TRIANGULATION

#	AMMALORAMENTO	CAUSA	LIVELLI GRAVITA'	DIMENSIONI CARATTERISTICHE	POSIZIONE	STRUTTURA PAVIMENTAZIONE	MISURA CLASSICA	EVOLUZIONE DISSESTO	EFFETTO e GRAVITA'	VALORE	
A. Fessurazione	1	Fessurazione a Ragnatela (alligator cracking) fessure interconnesse a formare una maglia piuttosto frastagliata ed irregolare	CARICO Fatica, Tensione di trazione all'interfaccia	Basso Fessure scarsamente collegate e non frastagliate. Profondità avvallamenti a <15 mm, larghezza larghezza media L <sub>0</sub> < 6 mm Medio Fessure collegate, leggermente frastagliate, inizio disegno a rete. Non evidente evidente lo sgretolamento Profondità avvallamenti a <25 mm, larghezza larghezza media l <sub>0</sub> < 15 mm Alto Le fessure sono ben definite e frastagliate, con asportazione di materiale Profondità avvallamenti a >25 mm, larghezza larghezza media l <sub>0</sub> > 15 mm	Forme poliedriche di dimensione maggiore max 60 cm	Wheelpath	Manto base stabilizzata	Deflessione trave Benkelman per avvallamento Misura: percentuale di presenza in m2 (possono coesistere diversi livelli di degrado: se non è possibile distinguerli si assume il livello peggiore presente)	Ormaimento Formazione di buche Agenti : acqua, gelo, agenti chimici	Riduzione comfort, aderenza e in caso di infiltrazioni perdita portanza MEDIO	2
	2	Fessurazione a Blocchi (block cracking) fessure longitudinali e trasversali a maglia, con direzioni prettamente ortogonali	CLIMA Ritiro variazioni termiche cicliche Scarsa portanza sottofondo	Basso Larghezza l < 10 mm; larghezza media L <sub>0</sub> < 3 mm Medio Larghezza l > 10 ; l < 75 mm; larghezza media L <sub>0</sub> > 3 mm Rete di fessure Alto Larghezza > 75 mm Placche regolari	0.3 m <sup>2</sup> e 3 m <sup>2</sup> forme rettangolari	Ampie aree, anche non trafficate	Manto	Misura: percentuale di presenza in m2 Ogni evento va misurato separatamente	Evoluzione rapida Maglia fitta ed estesa Formazione di buche	Aderenza, diminuzione di comfort, basso possibili infiltrazioni MEDIO	2
	3	Fessurazione di Bordo (edge cracking) fessure longitudinali e trasversali a maglia, con direzioni prettamente ortogonali	CLIMA Gelo nel sottofondo o fondazione	Basso Assenza disgregazione o sfrangiamento laterale Medio Perdita di materiale su non oltre il 10% della lunghezza della pavimentazione interessata dal fenomeno Alto Perdita di materiale su oltre il 10% della lunghezza della pavimentazione interessata dal fenomeno	Direzione trasversale, 60 cm dal bordo della pavimentazione	Strisce esterne della pavimentazione adiacente la banchina	Manto	Misura percentuale su metro lineare Ogni evento si misura separatamente	Agenti: carico traffico	Perdita comfort aderenza MOLTO BASSO	4
	4	Fessurazione Longitudinale e Trasversale (longitudinal e transverse cracking)	COSTRUZIONE, CLIMA Difetti di costruzione, escursioni termiche giornaliere, ritiro comp bit No traffico	Basso Fessure semglici non sigillate larghezza l < 10 mm, larghezza L <sub>0</sub> > 6 mm Medio Fessure sigillate in buone condizioni Alto Fessura principale con larghezza > di 75 mm, circondate da altre fessure a ragnatela	/	F Long: area rotolamento ruote o area tra di esse F Trasv sono ortogonali alle precedenti	Manto	Misura percentuale su metro lineare Ogni evento si misura separatamente	Fessure a pelle di coccodrillo, formazione di buche Agenti: Acqua, gelo, agenti chimici	Riduzione sicurezza per perdita regolarità superficiale, aumento infiltrazione acqua e perdita portanza MEDIO	3
	5	Fessurazione da Richiamo (joint reflection cracking) (solo pav composite)	CLIMA Movimenti apertura e chiusura giunti da ritiro termico delle lastre il traffico può provocare la rottura dello strato in cong bit	Basso Fessure non sigillate con larghezza < 10 mm, e fessure sigillate in buone condizioni Medio Fessure non sigillate con larghezza tra 10 e 75 mm, con presenza di altre fessure intorno minori Alto Fessure circondate da fessurazione a ragnatela di severità medio alta e fessure non sigillate hanno una larghezza superiore a 75 mm	/	Adiacenza giunti costruzione	Giunto lastra Usura	Misura percentuale su metro lineare Ogni evento si misura separatamente	Fessure a pelle di coccodrillo, formazione di buche Agenti: Acqua, gelo, agenti chimici	Riduzione sicurezza e comfort, perdita aderenza e aumento infiltrazioni MEDIO BASSO	4
	6	Fessurazione da Scorrimento (slippage cracking) Scivolamento o deformazione indotta dall'azione tangenziale dello pneumatico	TRAFFICO Scivolamento o deformazioni indotte dall'azione tangenziale di rotolamento dello pneumatico	Basso Larghezza fessura inferiore a 10 mm Medio Larghezza fessura tra 10 e 38 mm, area limitrofa divisa in pezzi di piccola dimensioni Alto Larghezza maggiore di 38 mm area limitrofa con frammenti facilmente rimovibili	Forma ricurva a mezzaluna	Spesso in corrispondenza di curve, salti, intersezioni	Manto	Misura in metri quadri Valutata in modo relativo rispetto al peggior degrato presente nell'area	Aumento del dissesto, formazione di buche.	Diminuzione comfort e stabilità del mezzo MEDIO	3
B. Deformazioni plastico viscoso	7	Risalti e sacche (Bumps and sags) avvallamenti e risalti improvvise localizzati	CARICO, CLIMA, ALTRO Instabilità pavimentazione, formazioni lenti di ghiaccio, infiltrazione e crescita di materiale iterno alle fessure Carico traffico	Basso, Medio, Alto Criterio: perdita di qualità di marcia riferita ad una soglia, stabilita mediante prove di percorribilità della strada	Risalti: locali innalzamenti Sacche: piccoli avvallamenti	Tutta la superficie	Manto Base Fondazione	Misura in metri lineari se sono ravvicinate meno di 3 m sono corrugation	Aumento del dissesto, formazione di buche.	Perdita comfort e sicurezza ALTO	2
	8	Ormaimento (rutting) Depressioni lungo la traccia ruote	CARICO Deformazione permanente degli strati della pavimentazione o sottofondo a causa di ulteriore costipamento per carico di traffico	Basso Profondità ormaia inferiore da 6 a 13 mm Medio Profondità ormaia tra 13 e 25 mm Alto Profondità ormaia superiore a 25 mm	Larghezza wheel path a crescere	Direzione trasversale Percorso ruote, con refluenti laterali	Manto, Base, Fondazione Sottofondo	Misura in metri quadri La profondità si misura con una trave di 4m	Fessurazione e ragnatela e buche	Perdita aderenza con acqua, MEDIO	3
	9	Ondulazioni (corrugations) Sequenza di avvallamenti ed innalzamenti ad intervalli regolari	CARICO E ALTRO Carico traffico e instabilità superficie	Medio deformazioni nettamente visibili, difficoltà evacuazione dell'acqua, presenza di piccole fessurazioni Alto grosse deformazioni che richiedono molta attenzione alla guida, difficoltà evacuazione dell'acqua, presenza di grandi fessurazioni	Ondulazioni ad intervalli regolari con intervalli inferiori a 3 m	Ortagonale alla dimensione del moto	Manto, Base	Misura in metri quadri La profondità si misura con una trave	Se distanziate più di 3 m sono risalti e sacche	Riduzione di comfort e sicurezza, ristagno d'acqua ALTO	2
	10	Depressioni (depressions) Aree della pavimentazione a quota inferiore	ALTRO Cedimenti del terreno di sottofondo dovuto alla costruzione di manufatti circostanti o errato procedimento costruzione	Basso Profondità tra 13 e 25 mm Medio Profondità tra 25 e 50 mm Alto Profondità superiore a 50 mm	/	Direzione longitudinale	Manto, Base, Fondazione Sottofondo	Misura in metri quadri	Fessurazioni e buche	Mancanza di sicurezza (configurazione pavimentazione e ristagno acqua) ALTO	2
	11	Buche (potholes)	TRAFFICO E CARICO Cedimenti	Basso, Medio, Alto in relazione alla perdita di qualità di marcia percorsa a velocità limite B: dislivello < 19 mm M: dislivello 19-38 mm A: dislivello > 38 mm	Forma Scodella Diametro inferiore a 1 m	Tutta la superficie	Manto, Base, Fondazione Sottofondo	Misura manuale e conteggio ognuna valutata in relazione alle sue caratteristiche.	Crescita areale acqua, gelo	perdita sicurezza, comfort ed aderenza con infiltrazione acqua perdita portanza MOLTO ALTO	1
	12	Rigonfiamenti (swell) innalzamento della superficie che si prolunga per più di 3 m	CLIMA Azione del gelo nel sottofondo e traffico	Basso, Medio, Alto in relazione alla perdita di qualità di marcia percorsa a velocità limite B: dislivello < 19 mm M: dislivello 19-38 mm A: dislivello > 38 mm	Dimensione longitudinale maggiore 3 m accompagnata ormaie e rotture ai bordi	Prevalentemente tracce ruote	Manto, Base, Fondazione Sottofondo	Misura in metri quadri	Fessure da scorrimento	Riduzione sicurezza, mancanza di comfort, possibile ristagno acqua e mancanza di regolarità del piano viabile MEDIO	3
	13	Scalinamento tra corsia e banchina (lane/shoulder drop off)	ALTRO Erosione della banchina o del suo assetamento, rifacimento pavimentazione senza adeguamento banchina.	Basso Dislivello in quota tra 25 e 50 mm Medio Dislivello in quota tra 50 e 100 mm Alto Dislivello in quota superiore 100 mm	/	Laterale, a ridosso del margine interno o esterno	Manto	Metro lineare	Distacco usura e fessurazione	Lieve perdita comfort BASSO	5
	14	Spostamento del manto per spinta orizzontale (shoving)	TRAFFICO Carichi di traffico	Basso, Medio, Alto in relazione alla perdita di qualità di marcia	Onda corta e brusca	Spostamento longitudinale strato manto	Manto con miscela di bitume molto liquida	Misura in metri quadri	Buche	Perdita aderenza e stabilità, MEDIO	3
C. Difetti superficiali	15	Essudazione bitume (bleeding) strato scivoloso che si forma in superficie	ALTRO Trasudamento bitume superficiale per surriscaldamento per irraggiamento	Basso, Medio, Alto M: solo durante poche settimane in un anno, la superf aderisce solo a pneumatici e scarpe A: durante le settimane più calde dell'anno porzioni notevoli aderiscono a pneumatici e scarpe o percentuale presenza: B: meno del 10% della superficie M: tra 10 e 25% della superficie A: più del 25% della superficie	Aspetto nero e brillante	Tracce ruote	Usura	Misura in metri quadri	Maggiore essudazione	Perdita aderenza, MEDIO BASSO	4
	16	Levigatura aggregato (polished aggregate)	TRAFFICO Carichi di traffico	Basso, Medio, Alto in relazione al percentuale presenza: B: meno del 10% della superficie M: tra 10 e 25% della superficie A: più del 25% della superficie	Superficie liscia e brillante	Tracce ruote	Usura	Misura in metri quadri, se si misura il bleeding non si conta	Avanzamento dissesto	Perdita aderenza, MEDIO	3
	17	Scagliatura della superficie (raveling)	ALTRO Perdita di bitume legata al passaggio traffico caduta di olio o solventi sulla pavimentazione	Basso Inizio formazione solchi e lucidatura, Profondità < 15 mm Medio Lucidatura evidente, solchi da usura; Profondità tra 15 e 30 mm Alto Solchi, anche localizzati dovuti all'usura, tessitura aperta. Profondità > 30 mm	/	Tracce ruote	Manto	Misura in metri quadri	Se le zone interessate superano le dimensioni di soglia del livello alto si parla di Buche	Perdita aderenza, BASSO	5
	18	Usura superficiale usura del materiale superficiale a causa dell'azione del traffico	TRAFFICO Carichi di traffico	Basso Diametro max 100 mm e spessore max illimitato Medio Diametro da 100 a 300 mm e spessore fino a 25 mm Alto Diametro da 100 a 300 mm e spessore superiore a 25mm Diametro superiore a 300 e spessore da 0 in su.	/	Tutta la superficie	Usura	Estensione	Buche Ormaie	Riduzione comfort e sicurezza, MEDIO	3
	20	Distacco strato usura	TRAFFICO Carichi di traffico	Basso Diametro max 100 mm e spessore max illimitato Medio Diametro da 100 a 300 mm e spessore fino a 25 mm Alto Diametro da 100 a 300 mm e spessore superiore a 25mm Diametro superiore a 300 e spessore da 0 in su.	/	Tracce ruote	Usura	Estensione	Maggiore distacco	Perdita comfort e aderenza MEDIO	3
D. Altri danni	21	Rappezzi (patching-utility cut patching) Porzione di superficie rimossa e ricollocata con nuovo materiale	ALTRO Usura	Basso Buone condizioni, basso livello di ammaloramento Medio Deterioramento modesto Alto Deterioramento evidente, necessità di sostituzione immediata.	Maggiore 0.1 m2	/	Manto	Misura in metri quadri Ogni area con diverse caratteristiche di gravità va misurata separatamente	Buche	Riduzione comfort, BASSO	4
	22	Attraversamento binari (railroad crossing) tutte le regolarità comprese nell'area di riferimento (buche o rilievi)	ALTRO Presenza binario	Basso, Medio, Alto in relazione alla perdita di qualità di marcia. Se la presenza del binario non influisce sulla percorribilità non è un difetto	Striscia interna o esterna ai binari	Interasse o vicinanze binario	Manto	Misura in metri quadri	Fessurazione e buche	Riduzione comfort, MEDIO BASSO	4
	23	Chiusini con avvallamenti e dissesti	TRAFFICO Carichi di traffico	Basso Alterazione delle condizioni di marcia avvertita ma non inficia la stabilità del veicolo. L'acqua ristagna ma in quantità limitata. Medio Alterazione delle condizioni di marcia è avvertita distintamente e richiede cautela alla guida per conservare la stabilità del mezzo. Consistente ristagno d'acqua. Alto Avvallamento di entità eccessiva e pericoloso. Ristagno d'acqua eccessivo.	Dimensioni caratteristiche dei punti singoli	In corrispondenza dei punti singoli	Usura	Estensione	Fessurazione lungo i bordi, distacco di materiale incremento avvallamento	Perdita comfort e aderenza MEDIO	3

FIGURA 3: ANALISI AMMALORAMENTI

Indice	Tipologia	Espressione	Note	Tipo di analisi	Tipo dato	Strumento	Informazioni	Dissesti considerati	Output	
I1	Indice Globale	$I_1 = 5 - \left( \frac{\sum (G_i \cdot M_i)}{10} \right)$ $I_1 = 0$	$\sum (G_i \cdot M_i) \leq 50$ $\sum (G_i \cdot M_i) > 50$	Combinazione lineare delle severità e estensione degli ammaloramenti per il peso attribuito ad ogni categoria di ammaloramento. L'indice è composta da indicatori specifici per categorie di degradi	Visive	Immagine	Catalogo Degrado	Estensione e Severità dissesti	Degradi Aderenza Degradi Superficie Deformazioni Superficie Degradi Strutturali Degradi Pavimentazioni	Giudizio qualitativo in 5 livelli
PCI Pavement Condition Index	Indice Globale	$PCI = 100 - \max CDV$	<p>Valutazione di tipo globale dello stato della pavimentazione stradale, composto dalla combinazione lineare della valutazione per ogni dissesto, e rapportata alla sua influenza in termini di gravità di degrado mediante il Deduct Value.</p>	Visive	Immagine	Catalogo Degrado	Estensione e Severità dissesti	1 alligator cracking 2 bleeding 3 block cracking 4 corrugation 5 bumps and sags 6 depression 7 edge cracking 8 lane shoulder 9 joint reflection 10 longitudinal transverse cracking 11 potholes 12 patching and utility cut patching 13 polished aggregates 14 railroads crossing 15 rutting 16 slippage cracking 17 shoving	Giudizio [0;100]	
PCR Pavement Condition Rating	Indice Globale Indicatori specifici	$PCR = 0.60 SCR + 0.40 RCI$	<p>Per confrontabilità dei diversi indicatori specifici anche le misure areali vengono convertite in lineari con opportuno sezione di riferimento</p>	Visivo+strumentale	Immagine laser	Calcolo di indici specifici normalizzati per ogni dissesto	Estensione e Severità dissesti Profilo Long	SCR viene valutato su: • Transverse Crack Index • Longitudinal Crack Index • Alligator Crack Index • Patching/Pothole Index • Rutting Index RCI si valuta dall'IRI	da 0 a 100 • POOR <= 60 • FAIR 61-84 • GOOD 85-94 • EXCELLENT 95-100	
UCI Unified Cracked Index	Indice Globale	$UCI = 1 - (Ncr/N)$	Definisce lo stato di ammaloramento	Image analysis	Immagine	Calcolo della rappresentazione in scala di grigi dell'immagine	Matrice [0,1]	• Fessurazione a pelle di cocodrillo • Fessurazione a blocchi • Fessurazione longitudinale • Fessurazione trasversale.	Giudizio qualitativo da 0 a 100, dove 0 è pessimo	
		$CTI = D_v - D_h$	Premette di valutare la tipologia di fessura sulla base dei valori della fessurazione riscontrata				Matrice [0,1]	Variazione distribuzioni ammaloramenti secondo istogrammi H e V sull'immagine binaria	<- 5 trasversali tra -5 e 5 alligatopre e blocchi >5 longitudinali	
PSI Presente Serviceability Index	Indice Globale	$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1+SV) - 1.38RD2 - 0.01 (C+P)$	<p>Misure quantitative del degrado dalla combinazione di diverse grandezze. L'indice è tipo empirico meccanicistico.</p>	Visivo+strumentale	Immagine Laser	Catalogo Degrado modelli analisi profili	Estensione e severità Profilo long e trasv	Variazione pendenza long, Media prodondità ormaie Area in cui sono presenti lesioni Area buche e riparazioni	Giudizio qualitativo 0;5	
IRI Internationa Roughness Index	Indicatore Specifico	$IRI = \sum \text{spostamenti verticali sospensioni} / (\text{lunghezze})$	<p>Misura dell'azione dell'accelerazione verticale sul mezzo prodotta dall'irregolarità sul profilo longitudinale</p>	Strumentale	Laser	Modello analisi dei profili	Profilo longitudinale con accuratezza definita da norma (classe)	Irregolarità longitudinale Macrorugosità.	da 0 e infinito, dove 0 è il livello perfetto	

FIGURA 9: ANALISI INDICI CLASSIFICAZIONE

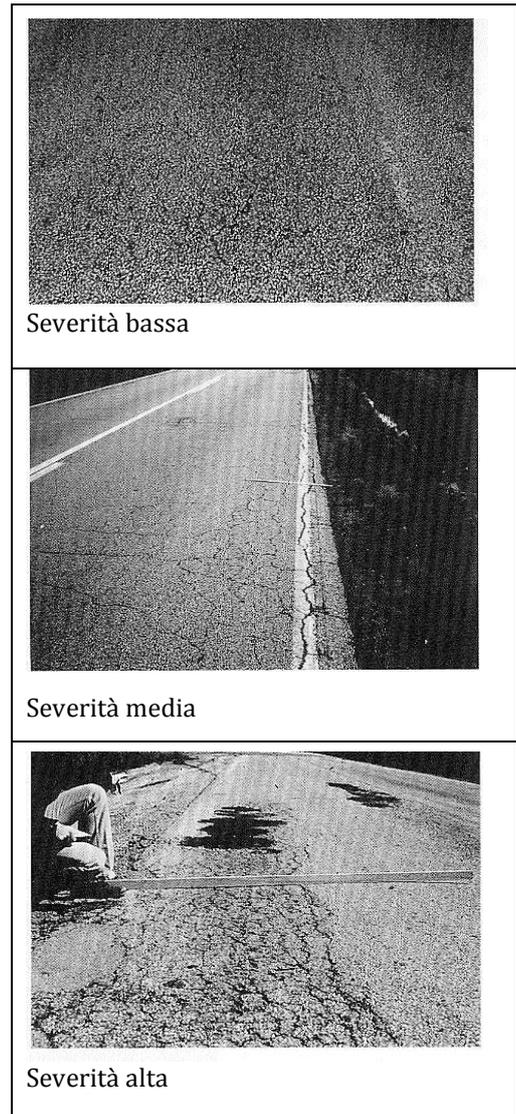
**FESSURAZIONI**

**1 Fessurazione a ragnatela (alligator cracking)**

Le fessure a ragnatela si presentano nelle zone soggette ai carichi di traffico ripetuti. Si originano sul fondo degli strati di conglomerato bituminoso (o della base stabilizzata), dove lo stato tenso-deformativo di trazione indotto dalle sollecitazioni è maggiore. Le fessure si propagano in superficie all'inizio parallele e longitudinali, poi interconnesse a formare segni poliedrici ad angoli acuti, di dimensioni inferiori ai 60 cm sul lato più lungo. Si presentano solo sulle superfici soggette al carico, perciò possono presentarsi su alcune aree piuttosto che su altre. Questo ammaloramento è spesso accompagnato dal fenomeno dell'ormaiamento.

Grado di severità	
<i>Basso</i>	Le fessure sono scarsamente collegate e non sono frastagliate. Profondità avvallamenti <15 mm; larghezza media l<6mm
<i>Medio</i>	Le fessure sono collegate, leggermente frastagliate e creano un disegno a rete. Le fessure possono essere sigillate; non è evidente lo sgretolamento. Profondità avvallamenti a<25 mm; larghezza media 6mm <l<15mm
<i>Alto</i>	Le fessure sono ben definite e frastagliate ai bordi; alcuni frammenti possono essere asportati dal traffico. Le fessure possono essere sigillate; lo sgretolamento può essere evidente. Stato avanzato di fessurazione con asportazione materiale larghezza media l>15 mm

CARATTERISTICHE	
<i>Dimensione e forma</i>	Forme poliedriche di dimensione maggiore max 60 cm
<i>Posizione</i>	Wheelpath
<i>Strati interessati</i>	Manto
<i>Modalità misura</i>	Percentuale di presenza in m <sup>2</sup> ; in caso di diversi livelli di degrado si assume il peggiore
<i>Evoluzione</i>	Ormaiamento Formazioe di buche Agenti : acqua, gelo , agenti chimici
<i>Effetti</i>	Riduzione comfort, aderenza e in caso di infiltrazioni perdita portanza
<i>Tecnica Rilievo</i>	Video Laser
<i>Accuracy</i>	1-3 mm



CAUSE	Cause specifiche	Interventi
<i>CARICO</i> <i>Fatica</i> <i>Sottodimensi</i> <i>onamento</i> <i>strati</i>	Spessore inadeguato degli strati	Rinforzo della pavimentazione o ricostruzione
	Modulo di base basso	Rinforzo della base o ricostruzione
	Strato di base fragile	Risanamento della base o ricostruzione
	Scarso drenaggio della base	Migliorare il drenaggio e ricostruzione
	Strato di usura fragile	Sostituzione o trattamento sullo strato di usura

### Progetto attività rilievo

Scopo del rilievo è la valutazione delle potenzialità e dei limiti delle camere areali disponibili, montate in maniera solidale con mezzo in movimento.

Si vogliono valutare le possibili configurazioni dell'architettura sensoriale in grado di consentire acquisizioni di immagini della pavimentazione (nadirali e lievemente prospettiche), in modalità cinematica al fine di disporre di informazioni propedeutiche alla valutazione dello stato manutentivo della pavimentazione.

A tal proposito si individuano gli obiettivi finali del rilievo in termini di accuratezza e precisione: si vuole lavorare su step successivi di approfondimento così da rispecchiare il duplice binario che caratterizza l'attività di ricerca, cioè in primis si vuole testare una metodologia più speditiva, orientata a rilievi estensivi, caratterizzata da un grado di accuratezza richiesto dell'ordine centimetrica, finalizzata all'individuazione di elementi di degrado che impattano in maniera elevata sul grado di sicurezza della circolazione. La fase successiva prevede la realizzazione di una metodologia più specialistica, che si caratterizza per livelli di accuratezza maggiori in quanto orientati ad una caratterizzazione di dettaglio della pavimentazione stradale, con un ordine di accuratezza millimetrico.

Gli aspetti principali da analizzare riguardano sia aspetti legati alle performance delle camere, sia le scelte alla base dell'architettura del sistema e sia le modalità di acquisizione.

### Caratteristiche delle camere

Per la progettazione del rilievo si è ipotizzato di impiegare delle camere areali aventi le seguenti caratteristiche:

- Tipo di sensore 2 Megapixel CMOS
- Risoluzione 1600x1200 pixel
- Pixel size 4.5 x4.5 micron,
- Focale da 6 mm e una da 4.8 mm
- Frequenza acquisizione massima 60 fps.

Riferimento caratteristiche camere:

[www.tpinet.it/media-sito/downloads/Scheda\\_web\\_ESS\\_ITA.pdf](http://www.tpinet.it/media-sito/downloads/Scheda_web_ESS_ITA.pdf)

<http://en.ids-imaging.com/e2v.html>

[http://www.imveurope.com/press-releases/product\\_details.php?product\\_id=1823](http://www.imveurope.com/press-releases/product_details.php?product_id=1823)

Ad oggi sono disponibili 4 camere posizionate su supporto su tetto del veicolo, poste ad un'altezza da terra di circa 1.70 m.

Le caratteristiche sulle quali è possibile operare variazioni sono l'ottica delle camere e la frequenza di acquisizione.

### Caratteristiche del Sistema

Gli aspetti fondamentali da tenere in considerazione nella progettazione e riguardano:

- Numero delle camere (max 4)
- Configurazione delle camere (posizione e altezza da terra)
- Orientamento delle camere

Tali aspetti si influenzano reciprocamente nella scelta della configurazione del sistema, stante le caratteristiche delle camere e l'accuratezza finale che il prodotto del rilievo deve garantire. L'obiettivo è quello di trovare la configurazione ottimale che corrisponda agli obiettivi di accuratezza e precisione sul dato prodotto.

Il numero delle camere determina la fascia di acquisizione di ogni sensore e di conseguenza influenza la scelta dell'ottica e quindi la risoluzione a terra. Analogamente la scelta della posizione e altezza da terra determinano l'impronta a terra che il sensore produce, stante le caratteristiche del sensore, e di conseguenza la risoluzione necessaria, nonché i possibili effetti di distorsione.

Per rilievi finalizzati all'acquisizione di immagini della pavimentazione, generalmente le camere vengono poste nella parte posteriore del veicolo, orientate in modo nadirale, ossia con l'asse ottico ortogonale al

piano medio rappresentate la superficie stradale. La configurazione delle camere (numero, posizione ed orientamento) deve essere tale da acquisire, al minimo, l'area della superficie stradale corrispondente alle wheel path, ovvero garantire un'impronta a terra di almeno 2.5 m centrata sull'asse di corsia. L'orientamento delle camere influenza particolarmente gli aspetti di distorsione dell'immagine e di conseguenza l'accuratezza del dato.

### Caratteristiche del rilievo

I rilievi vengono effettuati principalmente in modalità cinematica, con velocità di percorrenza tra i 30 e i 70 km/h circa. Momenti di acquisizione in modalità statica sono particolarmente utili in fase di calibrazione del sistema, al fine di determinare le caratteristiche operative.

In funzione della configurazione delle camere e della risoluzione necessaria è possibile valutare la possibilità di acquisizione delle due corsie in una sola passata, studiando un'apposita configurazione.

### Progetto preliminare del rilievo

Ai fini dell'attività di sperimentazione si sono fatte alcune considerazioni in merito agli aspetti specifici da testare in fase di rilievo.

I principali parametri presi in considerazione riguardano:

- Altezza di installazione ( 1m , 1.80m 2.00m)
- Numero di camere
- Focale (6mm, 4.8 mm)
- Frequenza di acquisizione
- Velocità di acquisizione (30 km/h, 50 km/h, 70km/h, 100km/h)

Facendo variare questi parametri ho analizzato delle configurazioni teoriche, da verificare in fase di rilievo.

Sono state poste delle ipotesi di base quali:

HP1: Camera perfettamente ortogonale

HP2: Larghezza corsia 4 m

HP3: Overlapping trasversale min 10%, max 20%

HP4: Overlapping longitudinale 20%

### Procedura

A partire dalle caratteristiche delle camere sono stati calcolati gli angoli corrispondenti alle focali, cioè i diversi angoli di campo.

		alfa1			
focale	6 mm	0.643501	rad	36.87	gradi
	4.8 mm	0.753151	rad	43.15	gradi

Il primo obiettivo è la valutazione della risoluzione a terra dell'immagine, data dalle caratteristiche della camera e dalla posizione della stessa. Il confronto è stato effettuato per le due ottiche prese in considerazione e in modalità statica.

L'obiettivo è la copertura totale della larghezza della sezione, prevedendo un buon grado di sovrapposizione trasversale delle immagini, ipotizzato al 20% proprio per garantire una presa completa.

L'output consiste nella valutazione delle seguenti grandezze:

- Risoluzione a terra del pixel,
- Risoluzione a terra dell'immagine,
- Numero minimo di sensori in grado di garantire la presa completa

		Distanza media H [mm]	Dimensione metà area A/2[mm]	Risoluzione a terra del pixel r [mm]	Risoluzione a terra area Ar x Br [mm]		Overlapping iniziale Ot,i [%]	Risoluzione a terra operativa Trasversale [mm]	Numero sensori	Overlapping finale Ot,f [%]
<b>F 6 mm</b>	TEST 1	1000	750.0	0.9	1500	1125	20	1200	4	33.33
	TEST 2	1800	1350	1.7	2700	2025	20	2160	2	25.93
	TEST 3	2000	1500	1.9	3000	2250	20	2400	2	33.33
<b>F 4.8 mm</b>	TEST 1	1000	937.5	1.2	1875	1406	20	1500	3	28.89
	TEST 2	1800	1687.5	2.1	3375	2531	20	2700	2	40.74
	TEST 3	2000	1875.0	2.3	3750	2813	20	3000	2	46.67

Tali risultati non considerano eventuali distorsioni introdotte dalle ottiche, che vanno tuttavia valutate in fase di calibrazione preliminare.

La risoluzione delle camere risulta essere, a livello teorico, totalmente in linea con le esigenze alla base del rilievo; ad un'altezza di 1 m entrambe le ottiche possono garantire una buona acquisizione, scendendo ad un dettaglio millimetrico.

Da valutare eventuali problematiche scaturite dalla possibilità di realizzare tali configurazioni, valutare gli errori introdotti da meccanismi di vibrazione e distorsione legati anche al movimento.

Per quanto riguarda la valutazione dei parametri cinematici, sono state effettuate le seguenti considerazioni, che coinvolgono soprattutto la dimensione longitudinale del problema.

L'obiettivo è quello di definire una soluzione ottimale e produttiva agendo sui seguenti parametri: frequenza di acquisizione delle camere, velocità di percorrenza del mezzo, altezza di installazione. L'insieme delle scelte operate su tali parametri determina l'accuratezza del rilievo e la copertura dell'area di indagine.

Analogamente al caso trasversale sono state considerate diverse altezze di installazione, e diverse velocità di percorrenza del mezzo. Come output si sono ottenute le frequenze minime di acquisizione della camera, quindi il numero minimo di scatti con un prefissato livello di sovrapposizione, posto in questo caso al 20%. I calcoli sono stati svolti nell'ipotesi di adozione delle due diverse ottiche.

### Focale 6 mm

Velocità KM/H m/s	Distanza media H [mm]	Dimensione metà area A/2[mm]	Risoluzione a terra del pixel r [mm]	Risoluzione a terra area Ar x Br[mm]	Frequenza scatto teorica [fps]	Overlapping Longitudinale Iniziale Ol,i [%]	Risoluzione a terra operativa longitudina [fps]	Frequenza scatto operativa [fps]	Quota overlapping finale Ol,f [%]	
30										
8.3	TEST 1	750.0	0.9	1500	1125	7.4	20	900	10	25.9
50										
13.9						12.3	20	900	16	22.8
70	F 6 mm									
19.4						17.3	20	900	22	21.4
100										
27.8						24.7	20	900	31	20.4
30										
8.3	TEST 2	1350	1.7	2700	2025	4.1	20	1620	6	31.4
50										
13.9						6.9	20	1620	9	23.8
70	F 6 mm									
19.4						9.6	20	1620	13	26.1
100										
27.8						13.7	20	1620	18	23.8
30										
8.3	TEST 3	1500	1.9	3000	2250	3.7	20	1800	5	25.9
50										
13.9						6.2	20	1800	8	22.8
70	F 6 mm									
19.4						8.6	20	1800	11	21.4
100										
27.8						12.3	20	1800	16	22.8

**Focale 4.3 mm**

Velocità KM/H m/s	Focale 4.3 mm										Quota overlapping finale O,f [%]
	Distanza media H [mm]	Dimensione metà area A/2[mm]	Risoluzione a terra del pixel r [mm]	Risoluzione a terra area Ar x Br[mm]	Frequenza scatto [fps]	Overlapping Longitudinale Iniziale O <sub>i</sub> ,j [%]	Risoluzione a terra operativa longitudina le	Frequenza scatto operativa [fps]			
<b>30</b> 8.3	<b>1000</b>	938	1.171875	1875	1406	6	20	1125	8.0		25.9
<b>50</b> 13.9											
<b>70</b> 19.4											
<b>100</b> 27.8											
<b>30</b> 8.3	<b>1800</b>	1688	2.1	3375	2531.25	3.3	20	2025	5		34.2
<b>50</b> 13.9											
<b>70</b> 19.4											
<b>100</b> 27.8											
<b>30</b> 8.3	<b>2000</b>	1875	2.3	3750	2812.5	3.0	20	2250	4		25.9
<b>50</b> 13.9											
<b>70</b> 19.4											
<b>100</b> 27.8											

L'analisi evidenzia come siano necessarie frequenze di acquisizione abbastanza elevate per garantire un dettaglio elevato e una copertura continua della superficie stradale. Assumendo infatti una frequenza di acquisizione di circa 3 fps, tipica del rilievo prospettico, caratterizzata mediamente da uno scatto ogni 5 metri a velocità tra i 50 e 70 km/h circa, non è possibile ottenere una copertura continua della pavimentazione, ma bisogna aumentare la frequenza di scatto e porre la camera ad una altezza da terra rilevante, perdendo in termini di accuratezza.

## Conclusioni

Dall'analisi effettuata risulta che:

Usando ottica da 6mm, il miglior compromesso si ha con la soluzione TEST2:

-Distanza media: 1.8m

-Risoluzione pixel a terra: 1.9 mm

-Risoluzione immagine a terra: 2700 x 2025 mm

-Numero camere 2

Questa configurazione consente di acquisire con ottimo dettaglio elementi con dimensione principale centimetrica, totalmente compatibile con l'ordine di grandezza di un'indagine più speditiva. Anche le fessure maggiori possono essere tuttavia riconosciute con un buon grado, considerando la loro estensione longitudinale come elemento più caratterizzante il tipo di dissesto.

La soluzione TEST 3 non apporta grossi benefici in termini di accuratezza.

Per quanto concerne gli aspetti cinematici, collocandosi nella fascia della tabella che prevede l'altezza di installazione con la scelta effettuata di 1.8m, si può assolutamente dire che in ambito urbano, dove le velocità di percorrenza non superano i 50 km/h si può prevedere una frequenza di acquisizione intorno ai 10 fps è più che sufficiente, garantendo una buona copertura fino ai 70 km/h.

Principali verifiche da effettuare riguardano :

- Verifica dell'accuratezza necessaria (riconoscimento di elementi caratterizzati da dimensione principale di 5 cm, o 1cm per elementi a sviluppo longitudinale per il rilievo di base, accuratezza millimetrica nel rilievo di dettaglio per riconoscere elementi caratterizzati da dimensione principale di 1 cm o 0.5 cm per elementi a sviluppo longitudinale).
- Verifica del meccanismo di distorsione, sia in modalità statica e sia cinematica con mire calibrate.
- Verifica dell'influenza dei parametri cinematici sul rilievo, tenendo conto anche delle vibrazioni e delle scie.
- Influenza delle condizioni ambientali sulla visibilità della pavimentazione, anche in relazione alla tipologia della stessa e alle tipologie di degrado presenti.
- Analisi della visibilità della segnaletica.
- Valutazione dell'influenza sul dato acquisito dell'inclinazione della camera rispetto all'orizzontale, anche al fine di valutare il settore di analisi dell'immagine meno soggetto a distorsione, sia in modalità cinematica e sia statica.

La fase di rilievo è finalizzata anche allo studio di una metodologia di valutazione dei prodotti di rilievo attraverso la progettazione di una procedura di calibrazione che possa consentire l'attività di correzione ed eliminazione delle distorsioni in fase di post processing.

Tutte le considerazioni qui esposte sono state fatte su base teorica e mediante riferimenti bibliografici, richiedono quindi una validazione e correzione mediante attività di test.