



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

OBIETTIVO REALIZZATIVO 4

“STUDIO DELLA DIPENDENZA DELLA MISURA DALLA CONDIZIONE DI MOTO DEL VEICOLO IN TRANSITO SULLA PIASTRA PER LA PESATURA DINAMICA”

D 4.1 Report Finale Attività:

**STUDIO DELLA PARTE ATTIVA DEL SISTEMA DI SENSING
PER IL WIM IN USO IN AMBIENTE SMART ROAD**

CODICE PROGETTO: ARS01_00243

Coordinatore dell'OR
ENEA FRASCATI
Dott. Michele Arturo Caponero

Visto del Responsabile Tecnico Scientifico
Ing. Piero De Fazio



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

<i>Contributi dei partecipanti</i>		
<i>Responsabile</i>	<i>Contributo</i>	<i>Descrizione contributo e note</i>
ENEA FRASCATI	Revisione documento	Report Tecnico sull'A.R. 4.1
<i>Partecipanti</i>		
ENEA TRISAIA	Stesura documento	



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

Sommario

1	Introduzione	4
2	Sensori in fibra ottica FBG	5
2.1	Normativa di riferimento sensori in fibra ottica	5
2.2	Normativa di riferimento IEC 61757-1-1 sulla tecnologia FBG.....	5
2.3	Procedura di giunzione	10
2.4	Incollaggio.....	12
2.5	Preparazione superficie	14
3	Definizione del piano sperimentale per la caratterizzazione del sistema resina-sensore-supporto 16	
3.1	Preparazione dei provini per le prove sperimentali.....	16
3.1.1	Tipologie sensori.....	16
3.1.2	Procedura di incollaggio	17
3.2	Apparecchiature utilizzate	20
3.2.1	Macchina a trazione Instron 3369.....	20
3.2.2	Interrogatore Ottico National Instruments PXIe-4844.....	21
3.3	Piano sperimentale per la caratterizzazione dei sensori FBG	23
3.3.1	Descrizione del programma di prove previsto	24



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

1 Introduzione

La Smart Road è una “strada intelligente” sulla quale i veicoli che la percorrono possono comunicare e connettersi tra di loro. L’obiettivo delle smart road è agevolare il trasporto grazie all’implementazione di sistemi intelligenti di comunicazione attraverso i quali i viaggiatori possono richiedere in tempo reale informazioni su condizioni stradali e del traffico o su situazioni particolari. Inoltre le smart road possono fornire servizi di deviazione dei flussi di traffico nel caso di incidenti, suggerimenti di percorsi alternativi, interventi di regolazione della velocità per evitare situazioni di congestione, gestione di accessi, parcheggi e rifornimenti, interventi tempestivi in caso di emergenze.

In questo contesto si inserisce perfettamente il monitoraggio del traffico “pesante” attraverso un sistema di pesatura dinamica WIM (Weigh In-Motion) obiettivo del Progetto Sentinel.

Per rendere possibile tutto questo bisogna dotare le strade, in particolare quelle strategicamente più importanti, di infrastrutture tecnologiche di ultima generazione e di connettività avanzata.

Telecamere, sensori posizionati lungo la strada e chilometri di fibra ottica diventano pertanto gli strumenti principali per la realizzazione di una “smart road”.

Nasce così la necessità all’interno del Progetto Sentinel e in particolare nell’attività 4.1 di studiare l’utilizzabilità di sensori che si possano interfacciare in maniera ottimale con una dorsale in fibra ottica di cui già dispongono lunghi tratti del sistema autostradale italiano. I sensori FBG per loro natura vengono incisi sulla fibra ottica e pertanto è possibile integrare su una singola fibra ottica un numero di sensori molto elevato, in questo modo una singola catena di sensori, ovvero un singolo tratto di fibra ottica, è in grado di sopperire alla necessità di un sistema costituito da singoli sensori separati che richiederebbero un sistema di interconnessione più complesso.

Nel seguente deliverable pertanto, dopo un breve accenno alla normativa relativa ai sensori in fibra ottica, si studieranno problematiche quali la procedura di giunzione dei sensori FBG nella fibra ottica, le varie tipologie di resine per l’incollaggio dei sensori al supporto in esame, i diversi tipi di recoating dei sensori FBG e la loro caratterizzazione mediante prove di tensile strain and four point bending.



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

2 Sensori in fibra ottica FBG

2.1 Normativa di riferimento sensori in fibra ottica

La sempre maggiore diffusione dei sensori in fibra ottica (Fibre-Optic Sensors – FOS) in svariati campi di applicazione fa nascere la necessità di produrre, caratterizzare e validare i FOS secondo indicazioni e standard internazionali.

Sono state sviluppate pertanto diverse linee-guida e attività di standardizzazione a livello europeo e a livello internazionale:

- EU COST (*EUropean COoperation in Science and Technolgy*) nell'ambito di attività Europee di standardizzazione ha prodotto 2 azioni, COST-299 'FIDES' (*Optical Fibers for New Challenges Facing the Information Society*) in cui sono riportate linee-guida per l'utilizzo dei FOS e COST-TD1001 '*Novel and Reliable Optical Fiber Sensor Systems for Future Security and Safety Applications*' in cui si sviluppa uno standard universalmente riconosciuto per valutare le prestazioni dei sensori.
- SAE International (*Society of Automotive Engineers*) nell'ambito di attività di standardizzazione nel campo Industriale nel Technical Committee AS-3: '*Fiber Optics and Applied Photonics*' ha elaborato un documento AIR6258 '*Fiber Optic Sensors for Aerospace Applications*' inteso a descrivere tecnologie sviluppate e requisiti operativi relativi all'uso di sistemi realizzati con FOS su piattaforme aerospaziali.
- SEAFOM (*Subsea Fiber Optic Monitoring*) Working Group nell'ambito di attività di standardizzazione nel campo Industriale impegnata a promuovere l'uso dei sensori FOS nell'industria del petrolio e del gas ha elaborato un documento SEAFOM-MSP-01: '*Measurement Specification for Distributed Temperature Sensing – DTS*' contenente parametri di misura, test di setup, procedure e metodi di calcolo per i sensori DTS.
- ASTM International (*American Society for Testing and Materials International*) riconosciuta a livello mondiale nello sviluppo e fornitura di standard internazionali ha prodotto 2 documenti a riguardo, ASTM F3092 – 14 (*Standard Terminology Relating to Optical Fiber Sensing Systems*) in cui sono riportate terminologie standard relative ai sistemi in FOS e ASTM F3079 – 14 (*Standard Practice for Use of Distributed Optical Fiber Sensing Systems for Monitoring the Impact of Ground Movements During Tunnel and Utility Construction on Existing Underground Utilities*) in cui sono contenute in applicazioni di costruzioni di tunnel pratiche standard che utilizzano i FOS distribuiti.
- IEC (*International Electrotechnical Commission*) ha elaborato standard internazionali e valutazioni di conformità di sistemi basati su sensori in fibra ottica FOS in generale e sensori FBG (*Fibre Bragg Grating*) in particolare.

2.2 Normativa di riferimento IEC 61757-1-1 sulla tecnologia FBG

La *International Electrotechnical Commission* (IEC) è un'organizzazione fondata nel 1906 per la formulazione e la diffusione di standard di validità internazionale riguardanti le tecnologie elettriche, elettroniche e quelle ad esse collegate. I *National Committees* sono i membri della IEC, (un solo membro per Nazione) e ad oggi sono 86. Ogni membro può nominare esperti e delegati nel campo industriale, governativo, accademico per partecipare a lavori di valutazione tecnica e di conformità della IEC. Le TC (*Technical Committees*) della IEC sviluppano standard e per i sensori in fibra ottica si deve far riferimento al TC86/SC86C/WG2 - Working Group 2: *Sensori in fibra ottica* contenuto nella Subcommittee SC 86C: *Sistemi in fibra ottica e dispositivi attivi*, che

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL**“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”**

comprende 57 esperti di 18 Paesi diversi. Il WG2 prepara standard e specifiche internazionali per sensori basati su fibra ottica come: prestazioni sul rivestimento dei sensori, caratteristiche di interfaccia, terminologia, metodologie di test, realizzabilità e attributi ambientali.

La normativa di riferimento redatta per i sensori in fibra ottica è la IEC 61757 suddivisa in 3 Parti (Tabella 1):

Titolo Documento	Argomento
IEC 61757-1	Sensori in Fibra Ottica FOS – Parte 1: Generalità (1 Ed.1998)
IEC 61757-2-1	Sensori in Fibra Ottica – Parte 2-1: Misure di Strain – Sensori di Strain basati su FBG (Fibre Bragg gratings)
IEC 61757-3-1	Sensori in Fibra Ottica – Parte 3-1: Misure di Temperatura – Sensori Distribuiti

Tabella 1. Suddivisione IEC 61757

Nel 2016 si è deciso di rinominare la IEC 61757 come IEC 61757-M-T (M = misurando; T = Tecnologia) (Figura 1).

Document IEC 61757 gives generic specifications, serving as an umbrella over the series			
Technology Measurand	FBG IEC 61757-M-1	Distributed IEC 61757-M-2	Polarimetric IEC 61757-M-3
Strain IEC 61757-1-T	IEC 61757-1-1 ed. 1.0 - 2016-02	IEC 61757-1-2 new proposal	
Temperature IEC 61757-2-T	IEC 61757-2-1 draft	IEC 61757-2-2 ed. 1.0 - 2016-05	
Acoustic waves IEC 61757-3-T		IEC 61757-3-2 new proposal	
Electric current IEC 61757-4-T			IEC 61757-4-3 draft

Figura 1. Struttura IEC 61757

Pertanto la parte di nostro interesse della normativa è la IEC 61757-1-1:2016 Sensori di Strain basati su Fibre Bragg Grating (FBG).

La IEC 61757-1-1:2016 definisce in dettaglio le specifiche per i sensori in fibra ottica che utilizzano uno o più sensori FBG come elemento sensibile per la misura della deformazione e le procedure per il calcolo della stessa. Le caratteristiche generali sono contenute invece nella IEC 61757-1:2012, sostituita peraltro dalla IEC 61757:2018. Nel complesso fornisce direttive tecniche e procedure scientifiche che vengono in aiuto di produttori, distributori e utenti di sensori FBG per le varie applicazioni. Sono specificate inoltre anche le caratteristiche di base dell'interrogatore ottico utilizzato per leggere il segnale che ritorna dal sensore FBG con riferimento anche all'algoritmo di calcolo. Lo standard si riferisce a misure di deformazioni sia statiche che dinamiche.

All'interno della normativa IEC 61757-1-1 sono riportate le linee guida per 3 tipologie di sensori FBG di strain:

- un segmento di fibra ottica con uno o più sensori di strain (FBG array);

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL**“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”**

- un sensore FBG di strain dove i terminali della fibra sono fissati in punti di ancoraggio ad una distanza predefinita (trasduttore di strain o estensometro);
- un FBG embedded in un layer protettivo posto tra il sensore e l'oggetto da misurare (FBG patch).

Sono definiti pertanto termini come strain, strain di riferimento, lunghezza d'onda di riferimento, criteri di stabilità per il sensore di strain, misure riferite rispetto allo zero e non, lunghezza d'onda di Bragg, larghezza di spettro, riflettività, sensitività dello strain, gauge factor k , resistenza a fatica, minimo raggio di curvatura, risposta alle variazioni di temperatura e deformazioni correlate alla temperatura.

Si fa riferimento in particolare ad alcune caratteristiche dei sensori FBG (

Figura 2):

- FWHM (Full Width at Half Maximum) di uno spettro FBG è l'intervallo di lunghezze d'onda dello spettro dove l'ampiezza è pari al 50% (3 dB) del massimo valore della riflettanza a λ_B .
- Differenza in intensità tra il picco di Bragg e il picco del più grande lobo secondario (1)
- Distanza spettrale tra il valore della lunghezza d'onda di Bragg λ_B e i lobi secondari di rumore (2)
- Rapporto segnale/rumore indicato in figura con (3)

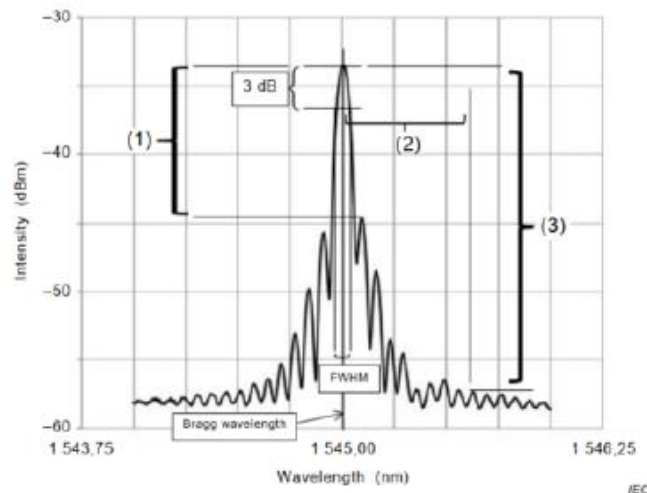


Figura 2. Caratteristiche dello spettro di riflessione di un reticolo di Bragg

Da queste caratteristiche discende che nella scelta di un sensore FBG va valutata sia la riflettività del sensore (altezza del picco), proporzionale alla lunghezza del reticolo L , ma anche il valore del rapporto segnale/rumore tra il picco e i lobi secondari.

Per determinare le caratteristiche individuali di un sensore FBG sopra riportate la normativa elenca le tipologie di test da effettuare (Tabella 2).

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

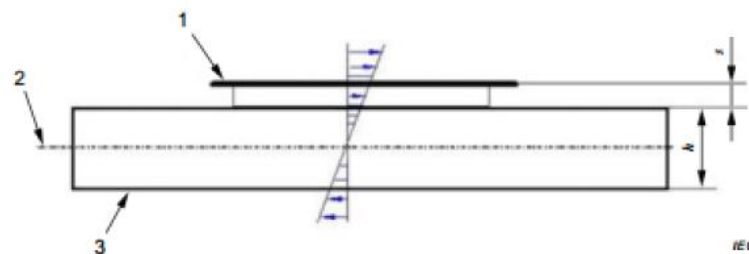
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

Design-specific features and characteristics	Type of test
Operating temperature and humidity ranges	Series test
Bragg wavelength	Individual sample test
FBG spectral width	Series test
Reflectivity	Type test
FBG strain sensitivity	Random sampling test
FBG gauge factor	Random sampling test
Maximum strain range at ambient conditions (see 7.1.8)	Series test
Fatigue behaviour	Series test
Minimum operating radius of curvature	Series test
Temperature-induced strain response	Random sampling test

Tabella 2. Tipologia richiesta di test per caratteristiche individuali

Ad esempio per studiare il comportamento a cicli di fatica la procedura è la seguente:

- Il sensore FBG di strain deve essere installato sul campione di test in condizioni standard secondo le istruzioni del produttore. Saranno impostate pertanto le condizioni operative del test.
- Il campione di test con il sensore FBG di strain deve essere caricato dinamicamente o con un test di trazione monoassiale o con un test di flessione a 4 punti (Figura 3). All’inizio del test sarà fissato lo spettro in condizioni di riposo sullo zero.
- Sarà così applicato sul campione di test un carico sinusoidale di frequenza e ampiezza opportune, che saranno poi mantenute costanti durante tutta la prova. Verranno pertanto settati anche il numero di cicli di carico. Verrà inoltre impostata la misura della temperatura durante tutto il test.
- Il test proseguirà fino al numero di cicli di carico impostati per valutare la variazione nello spettro dalla posizione di riposo sullo zero. Sarà verificato durante tutto il test se il sensore misura correttamente e in maniera costante la deformazione nel tempo per tutti i cicli di fatica. In figura 4 sono riportati ad esempio due test effettuati secondo la IEC 61757-1-1 con due diverse patch FBG applicate sullo stesso campione. Il test di fatica riportato in nero è andato a buon fine, a differenza di quello riportato in rosso in quanto la deformazione non rimane costante per tutti i cicli di fatica, nel range di temperatura impostato.



Key

- 1 FBG strain sensor
- 2 neutral axis of strain
- 3 test specimen

Figura 3. Campione di test con un sensore di deformazione FBG applicato su di esso

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

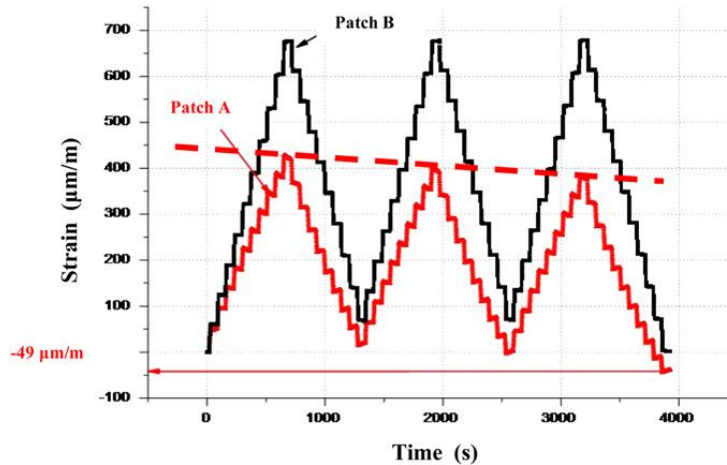
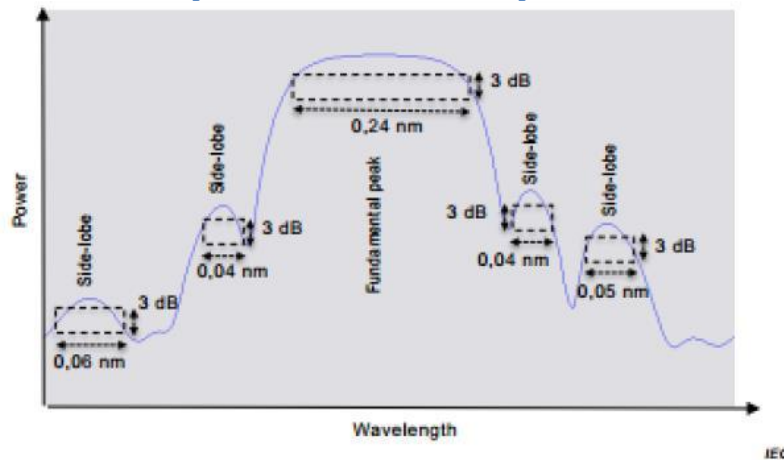


Figura 4. Risultato di due test relativi a due cicli di fatica su due FBG Patch A e Patch B

Nell'Appendice A della IEC 61757-1-1 sono riportate ulteriori spiegazioni su come distinguere nello spettro i picchi primari dai picchi dei lobi secondari nel caso di catene di FBG inseriti sulla stessa fibra ottica. Nella

Figura 5 si può vedere la soglia sopra cui sono individuati i picchi relativi ai sensori FBG. I picchi al di sotto della stessa sono



considerati rumore. Inoltre nella

Figura 6 sono riportati invece i parametri con cui distinguere i picchi primari dai secondari.

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

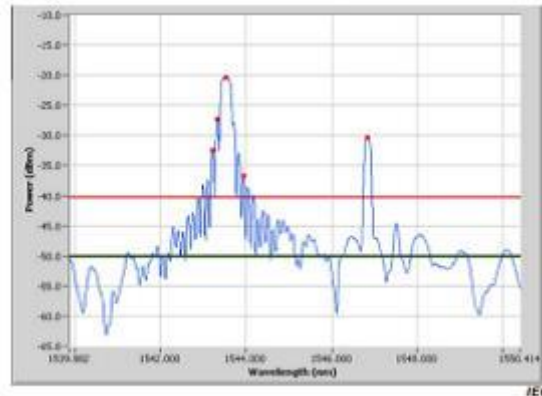


Figura 5. Individuazione dei picchi primari e secondari su un array di FBG

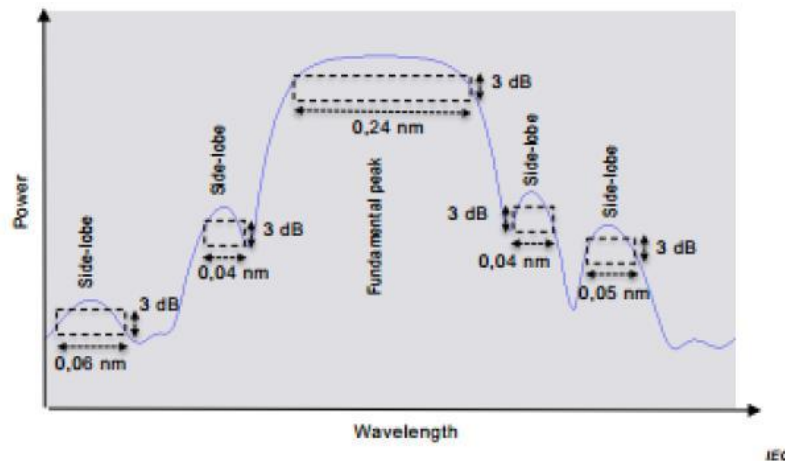


Figura 6. Parametri per identificare i picchi primari dai picchi secondari

2.3 Procedura di giunzione

La giunzione dei sensori, per formare catene ad hoc, si rende necessaria poiché non è possibile acquistare catene preassemblate in quanto in questa fase del progetto non si conoscono ancora: le dimensioni effettive, la forma finale della piastra flettente, ancora in fase di progettazione, il numero e la configurazione geometrica (distanza tra sensori, direzione degli stessi rispetto ai lati della piastra) dei sensori con cui sarà equipaggiata la piastra non essendo ancora disponibili i dati delle misure sperimentali effettuate in laboratorio. Pertanto saranno acquistati sensori singoli privi di terminali di collegamento (connettori) con i tratti di fibra di raccordo tra sensore e sensore e tra sensore e unità di interrogazione in quanto la presenza di troppi connettori fa aumentare i costi della catena e ne rende più difficile l'incollaggio alla piastra senza apportare significativi vantaggi né dal punto di vista prestazionale della catena né dal punto di vista dell'eventuale gestione/manutenzione del sistema piastra-sensori una volta installata nella sede stradale.

Il laboratorio ENEA di Frascati a tal riguardo ha le competenze e le attrezzature necessarie per l'attività di saldatura il che permette al team di ricercatori che lavora sul progetto una notevole flessibilità nella scelta del numero e nella configurazione dei sensori oltre alla possibilità di effettuare modifiche nella catena ove se ne verifichi la necessità.

Il collegamento per giunzione consiste nel “fondere” permanentemente due terminali in fibra ottica mediante un arco elettrico.



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

Per le giunzioni sarà usata una splicer Fujikura FSM-60S.

I sensori da collegare non hanno nessun tipo di placchetta di supporto; il reticolo di Bragg è semplicemente integrato nella fibra e appare quindi come una normale fibra ottica priva di cavo di protezione esterno. Il recoating esterno del sensore può essere di acrylato o polyimmide. Alle due estremità del sensore poi è collegato un tratto di fibra con recoating in acrylato. Quest'ultimo poi andrà saldato con un tratto di fibra di lunghezza opportuna per collegarlo al sensore successivo. La fibra di collegamento è comunque con recoating in acrylato rendendo più facile ed economica la saldatura rispetto alla saldatura e recoating con polyimmide.

In questo OR verrà effettuato un confronto presso i laboratori del CR ENEA di Trisaia tra sensori con differente recoating al fine di caratterizzarne la capacità di trasferimento della deformazione dalla piastra di acciaio al sensore stesso in modo da avere una stima più precisa del peso del veicolo transitante sul sensore WIM. Le operazioni di giunzione devono essere svolte con la massima attenzione, perché ogni piccola incisione sulla superficie della fibra compromette la riuscita della fusione.

La procedura di giunzione segue principalmente i seguenti passi. Per l'applicazione dei connettori la procedura rimane invariata ma bisogna anche rimuovere il cavo di protezione esterno del pigtail.

1. La fibra viene fatta passare all'interno di un piccolo pezzo di cavo di hytel (un elastomero termoplastico che abbina alla resistenza dei termoplastici la flessibilità della gomma) da 900 micron. In questo modo il termorestringente apposito che verrà usato per irrobustire il punto di giunzione stringerà sul cavo di hytel evitando piegamenti della fibra.
2. Viene inserito il termorestringente da 60 mm.
3. Viene rimosso il buffer coating della fibra mediante una pinza Miller FO-103-D-250 (stripper cable).
4. La fibra viene pulita con alcol isopropilico. La pulizia della fibra è importantissima e va ripetuta ogni volta che ci sia stata la possibilità di deposito di sporcizia sulla fibra.
5. Viene effettuato il taglio della fibra con la taglierina per fibre ad alta precisione Fujikura CT 30-A, nella configurazione per fibra singola e con cassetto di raccolta. Questa taglierina ha al suo interno una ruota diamantata; per ottenere un taglio adeguato la fibra deve essere, al momento del taglio, perfettamente ortogonale all'asse della ruota diamantata.
6. L'estremità della fibra così preparata viene posizionata nella sede della giuntatrice (Figura 7).
7. Vengono ripetute le operazioni 1,3,4,5,6 per l'estremità dell'altra fibra da giuntare.
8. Una volta inserite le fibre e chiuso il coperchio esterno della giuntatrice inizia il processo automatico di fusione. In una prima fase l'apparecchio scatta una scintilla di debole potenza (prefusione) che serve a pulire la parte di contatto delle due fibre. Successivamente tenta di allineare i due core (Figura 8); in caso di buon allineamento eseguirà la fusione, altrimenti sarà necessario ripetere tutti o parte dei punti precedenti. A fine fusione viene data una stima della perdita in dB che di solito si aggira intorno ai 0.01-0.02 dB.
9. La fibra viene liberata dalle apposite sedi e viene fatto scorrere il termorestringente con i cavetti di hytel in corrispondenza del punto di fusione; il tutto viene inserito nel fornello (Figura 9).

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

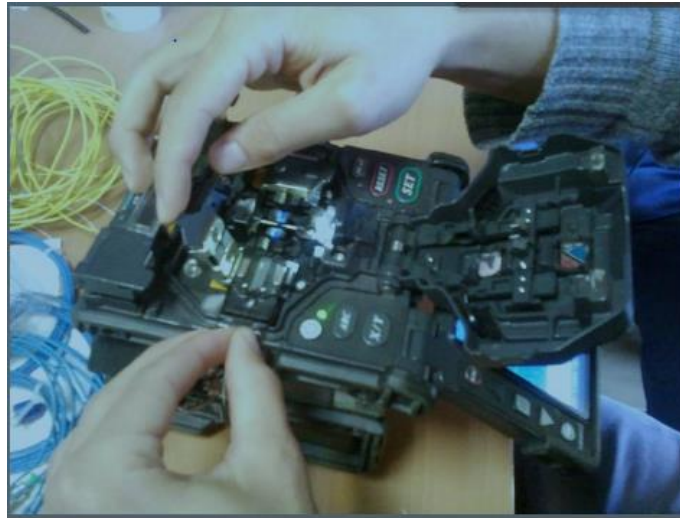


Figura 7. Posizionamento della fibra nella giuntatrice.



Figura 8. Allineamento delle fibre prima della fusione.



Figura 9. Inserimento del termorestringente.



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

Oltre ai sensori di deformazione è previsto l’inserimento di un sensore di temperatura nella catena; la lettura della temperatura è necessaria per risalire all’effettiva deformazione dei sensori, in quanto influenza la lettura dei dati. Se è presente una significativa escursione termica è indispensabile compensare l’effetto della temperatura; dato che ci attendiamo che la temperatura della piastra sia omogenea si ritiene sufficiente l’aggiunta di un solo sensore di temperatura.

2.4 Incollaggio

Gli FBG sono dei sensori di deformazione estremamente sensibili che possono essere usati per monitorare diversi parametri dell’ambiente che li circonda e sono quindi usati in un numero sempre maggiore di applicazioni.

Le loro ridotte dimensioni e la facilità di manipolazione permettono sia il loro inserimento direttamente all’interno (embedded) di materiali di varia natura, realizzando degli “*smart materials*” sia il loro posizionamento mediante incollaggio su materiali e strutture preesistenti.

Per ottenere una misura veritiera della deformazione, o di altri parametri che si vogliono monitorare, è necessario che la deformazione del materiale, sia che derivi dall’applicazione di un carico alla struttura sia che derivi da una variazione dei parametri chimico fisici dell’ambiente in cui la struttura è immersa, raggiunga il core della fibra in cui è inciso l’FBG. Per ottenere ciò la deformazione deve essere efficacemente trasferita dalla struttura al sensore attraverso una serie di interfacce la cui resistenza gioca un ruolo decisivo per l’accuratezza della misura. Le deformazioni passano attraverso sforzi di taglio dalla struttura alla resina e da questa alla fibra di vetro attraverso il coating polimerico. In alcuni casi particolari si può rimuovere il coating polimerico in modo da avere un trasferimento diretto struttura/resina/vetro che sicuramente rende più efficace il trasferimento della deformazione, eliminando un’interfaccia, ma più difficoltosa la manipolazione del sensore “*nudo*”.

La resistenza di queste interfacce e la loro capacità di trasferire la deformazione da un materiale all’altro deve essere garantita non soltanto al momento dell’applicazione del carico ma anche per tutta la durata della sollecitazione. Questa proprietà risulta particolarmente importante in tutte le applicazioni in cui le strutture da monitorare rimangono sollecitate a lungo, come nel monitoraggio di una trave di un edificio. Inoltre, in situazioni di monitoraggio continuo nel tempo, la resistenza deve essere garantita nel tempo e non deve essere compromessa dall’invecchiamento dei materiali (resina, polimeri di recoating) e da situazioni ambientali sfavorevoli come variazioni di temperatura e di umidità.

Nel caso di sensori incollati, che sarà la configurazione finale della WIM oggetto di studio del progetto SENTINEL, la deformazione passa dalla struttura da monitorare alla resina, dalla resina al recoating e dal recoating al sensore FBG.

Poiché l’incollaggio dei sensori FBG è fondamentale per l’accuratezza della misura di deformazione devono essere particolarmente curate tutte le fasi del processo:

- 1) Scelta della resina;
- 2) Preparazione della superficie su cui incollare il sensore;
- 3) Cura della fase di incollaggio vera e propria;

Le colle sono dei composti che, nel nostro campo di applicazione, sono di solito liquide che, una volta applicate, solidificano per polimerizzazione, cioè per unione di più molecole a formare macromolecole. La polimerizzazione si verifica in certe condizioni di temperatura e pressione a partire da una causa esterna (catalizzatore, umidità). Terminato il processo il liquido si è trasformato in un’unica massa solida che ha creato legami con la base e con il materiale sottostante e sovrastante.



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

Un collante farà sicuramente presa se applicato su superfici perfettamente pulite. Una resina di comune impiego per applicazione di estensimetri è il ciano acrilato che polimerizza pressoché istantaneamente. Il suo pregio è quindi la velocità di presa ma ha il difetto di una scarsa affidabilità nel tempo. Può essere impiegato in un campo che va da -20 °C a 80 °C. La polimerizzazione completa avviene in 24 ore ma già dopo 15 minuti la presa è sufficiente per effettuare le misure.

In Enea in collaborazione con altri partner sono stati svolti in altri progetti prove con diversi tipi di colle. In particolare si sono confrontate tre colle commerciali: l'Araldite 2011, l'Araldite 2021 e Dow Corning RTV 3145. Le prime due sono colle epossidiche bi-componente indicate per incollaggi di diversi tipi di materiali (metalli, ceramiche, vetro, gomme vulcanizzate e plastiche) che reticolano in un range di temperature compreso tra 20 °C e 180 °C in tempi rispettivamente tra 15 ore e 5 minuti. Il Dow Corning RTV 3145 è invece un adesivo siliconico anch'esso indicato per diversi tipi di materiali (metalli, ceramiche, vetri, gomme siliconiche e plastiche) che reticola a temperatura ambiente e ha in aggiunta proprietà sigillanti.

Dai test si è evidenziato che le due colle epossidiche hanno comportamenti molto simili: mostrano un comportamento molto rigido con moduli elastici pressoché identici. Il cedimento avviene in genere con modalità mista adesiva-coesiva con prevalenza della componente adesiva (distacco resina-substrato) e i valori di resistenza al taglio sono abbastanza simili (leggermente superiori per l'Araldite 2011).

L'adesivo siliconico presenta invece una rigidità notevolmente inferiore. Inoltre, mentre le due epossidiche si rompono per spostamenti molto piccoli cedendo di schianto, l'adesivo siliconico riesce a sopportare spostamenti superiori (circa 5 volte maggiori) e ha un cedimento graduale e sempre con modalità adesiva.

I test hanno evidenziato che le colle epossidiche riescono a garantire un corretto trasferimento della deformazione dal supporto al sensore mentre l'adesivo siliconico non dà garanzie di un corretto trasferimento della deformazione né di tenuta all'interfaccia resina fibra che sembra subire cedimenti o scorrimenti già dalla prima applicazione del carico. Tuttavia gli adesivi siliconici possono essere ulteriormente studiati per valutare la possibilità di realizzare un'attenuazione controllata della deformazione e di permettere quindi la misura di deformazioni più elevate.

Esistono poi altre colle come le miste epossidico-fenoliche e le colle ceramiche (cementi) che hanno eccellenti proprietà, come la capacità di resistere a temperature di utilizzo notevolmente maggiori, ma la loro polimerizzazione richiede cicli abbastanza lunghi (maggiori di 1 ora) a temperature molto alte che le rendono inadatte per applicazioni di incollaggio di sensori FBG.

Per quanto sopra esposto e per le esperienze già condotte in ENEA la scelta della resina ricadrà sull'Araldite.. che si presta benissimo per l'applicazione nel progetto SENTINEL anche perché per quanto concerne la durata nel tempo dell'araldite nelle condizioni effettive di utilizzo si hanno a disposizione notevoli quantità di informazioni provenienti da progetti di ricerca precedenti che hanno mostrato una buona tenuta anche a distanza di anni. A supporto di queste conoscenze pregresse i manufatti sensorizzati potranno essere sottoposti a cicli di aging accelerato nei laboratori del CR ENEA Trisaia per caratterizzarne più accuratamente la loro resistenza nel tempo.

2.5 Preparazione superficie

Altra fase importante nell'incollaggio degli FBG è, perché si abbia un adeguato trasferimento della deformazione dalla struttura al sensore, la preparazione della superficie. La superficie deve essere chimicamente pulita e deve avere una rugosità adeguata all'incollaggio, inoltre sarebbe preferibile avere una linea tracciata visibile per facilitare il corretto posizionamento dell'FBG.

In linea di principio le fasi dell'incollaggio sono le seguenti:

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL**“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”**

- Sgrassaggio
- Carteggio
- Posizionamento fibra
- Applicazione di una maschera
- Applicazione resina
- Eliminazione maschera

Queste operazioni possono variare in funzione della compatibilità tra i diversi materiali.

Sgrassaggio

Lo sgrassaggio permette di rimuovere oli, grassi, contaminanti organici e residui chimici solubili. Materiali porosi come il titanio, la ghisa e l'alluminio devono essere scaldati per far evaporare eventuali liquidi di cui sono impregnati. Lo sgrassaggio può essere effettuato con ultrasuoni o con sostanze chimiche sgrassanti come spray a base di clorotene o come l'alcool isopropilico.

Carteggio

Il carteggio è usato per togliere strati superficiali come ossidi, ruggini, vernici ecc.. ed ottenere così una superficie adatta all'incollaggio. Inoltre il carteggio, opportunamente eseguito, consente di avere una rugosità adeguata per l'incollaggio. In genere una rugosità di $2.5\mu\text{m}$ è sufficiente a garantire un buon incollaggio e risulta anche facilmente pulibile. Finita l'operazione di carteggio è necessario pulire la superficie con un solvente come l'alcool isopropilico o l'acetone.

Posizionamento

Per posizionare correttamente il sensore ci si può servire di linee di riferimento tracciate sul provino e di pesetti che servono a tenere la fibra ben tesa. Una volta posizionato il sensore si può usare del nastro adesivo per tenerlo fermo fino a quando la resina non è completamente polimerizzata.

Mascheratura

Una volta preparata la superficie si può applicare una maschera per circoscrivere la zona in cui andrà applicata la resina. L'operazione di incollaggio va effettuata nel minor tempo possibile dopo la pulizia per evitare nuove contaminazioni o ossidazioni superficiali del supporto metallico. La maschera si può realizzare mediante dei nastri adesivi posizionati in maniera tale da lasciare libera solo la parte (che deve essere la più piccola possibile intorno al sensore) su cui andrà deposta la resina (Figura 10).

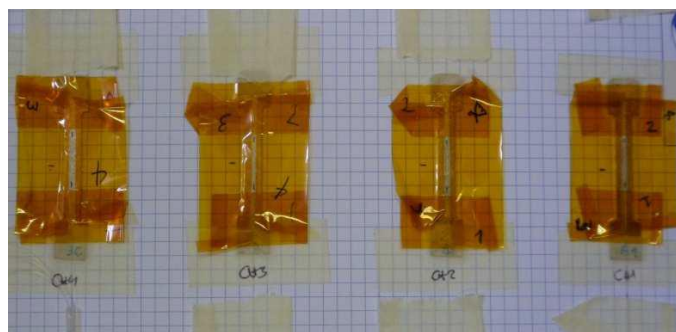


Figura 10. Applicazione maschera su provini

Nella realizzazione della maschera è preferibile usare nastri adesivi (come il kapton) che siano facilmente rimuovibili senza rischi di danneggiamenti per il sensore e lascino pochi residui sul provino.

Applicazione resina

Una volta preparata la resina, la si applica con una spatola e per far sì che il sensore aderisca perfettamente al supporto, soprattutto per colle che induriscano rapidamente si distende sulla parte incollata un foglio di teflon su cui si va ad esercitare una pressione abbastanza energica. La



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

pressione ci assicura anche che durante la reticolazione la resina non provochi tensioni che possano spostare localmente il sensore. Una soluzione alternativa, e preferibile alla pressione esercitata dall'alto, è quella di vincolare una delle estremità al piano di lavoro e l'altra estremità a un peso, sospeso al di fuori del piano stesso. In tal modo si assicura il perfetto allineamento della fibra durante la fase dinamica di cura della resina e si assicura un precarico costante e stabile sul sensore. Dopo la completa polimerizzazione della resina si toglie la maschera facendo attenzione a non danneggiare l'incollaggio.



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

3 Definizione del piano sperimentale per la caratterizzazione del sistema resina-sensore-supporto

3.1 Preparazione dei provini per le prove sperimentali

3.1.1 Tipologie sensori

In questo capitolo verrà definito un piano sperimentale per la caratterizzazione del sistema resina-sensore-supporto che verrà eseguito successivamente presso i laboratori ENEA della sezione DTE-SAEN di Trisaia. La finalità di questa campagna sperimentale è la scelta della tipologia di sensore FBG da usare sul prototipo finale del progetto.

Il mercato attuale degli FBG è dominato da tre tipologie di sensori che differiscono tra di loro per il materiale usato per il recoating:

- recoating in Poliacrilato: facilmente strippabile, facile da maneggiare e giuntare, con caratteristiche meccaniche non elevate. Avendo una temperatura di transizione vetrosa attorno a 85 °C risente del degrado qualora la temperatura superi eccessivamente tale limite con problemi di deformazione della fibra ottica, indebolimento dell'interfaccia, nel caso di sensori inglobati, ed eventuale perdita del segnale.
- recoating in Polyimmide: rivestimento con caratteristiche meccaniche superiori all'acrilato, garantisce omogeneità di forma e protezione del core a temperature maggiori, necessità di maggior attenzione nelle operazioni di stripping.
- recoating in Ormocer (organic modified ceramic): rivestimento adatto alle alte temperature, superiore a 300 °C, dalle elevate caratteristiche meccaniche le quali garantiscono adeguata protezione al vetro e permettono il trasferimento di elevate deformazioni tra il supporto e la zona sensibile dell'FBG.

Tra i tre tipi di sensori FBG quelli di interesse per la realizzazione della WIM del progetto SENTINEL sono i primi due non avendo vincoli particolarmente stringenti né sulle temperature di esercizio né sulle caratteristiche di resistenza meccanica richiesta.

Sia i sensori in polyimmide sia quelli in acrilato hanno caratteristiche che ben si adattano alla realizzazione della WIM di SENTINEL, ma mentre i sensori in acrilato hanno il vantaggio di un costo più basso quelli in polyimmide si fanno preferire per una migliore risposta meccanica (cioè migliore capacità di trasferimento della deformazione alla parte sensibile del sensore e migliore resistenza meccanica), per una maggiore resistenza a temperature più alte e all'umidità. La differenza nella scelta dell'una o dell'altra tipologia di sensori potrà farla la capacità dei due materiali di aderire perfettamente alla resina in modo da trasferire la deformazione in maniera più fedele possibile senza che si verifichino slittamenti della fibra all'interno della resina e dal mantenimento nel tempo di questa capacità.

Al fine di testare la resistenza dell'incollaggio sono state realizzate 5 piastre di acciaio AISI 304 di dimensioni 350x25x5 mm (Figura 11).

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL**“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”**

Figura 11. Piastra di acciaio AISI 304

Per strumentare le piastre di test sono stati usati 5 sensori FBG in fibra ottica in acrilato recoating acrilato con lunghezze d'onda di Bragg λ_B rispettivamente pari a 1530 nm, 1535 nm, 1540 nm, 1545 nm e 1550 nm e 5 sensori FBG in fibra ottica in acrilato recoating poliammide con lunghezze d'onda di Bragg λ_B rispettivamente pari a 1533 nm, 1537 nm, 1541 nm, 1553 nm e 1557 nm.

Mediante la procedura di giunzione descritta precedentemente nel paragrafo 2.3, sono state realizzate cinque catene, ciascuna delle quali è costituita da un sensore con recoating in acrilato e un sensore con recoating in poliammide. Ciascuna delle cinque catene di sensori è stata usata per realizzare i provini di test incollando su ciascuna delle suddette piastre di acciaio i due sensori di ogni catena in direzione longitudinale rispetto alla piastra e tra loro paralleli.

I sensori FBG permettono di rilevare sia deformazioni longitudinali ε che variazioni di temperatura ΔT proporzionali alla variazione della lunghezza d'onda di Bragg λ_B . Per le prove di carico effettuate sui provini, vista la breve durata delle stesse, si può trascurare l'effetto delle deformazioni dei sensori dovute alle sole variazioni termiche, però verificando, come prescritto dalla normativa *IEC 61757-1-1 Edition 1.0 2016-02*, che le variazioni rimangano nel range $\pm 0,5$ °C. Pertanto durante le prove sarà misurata la temperatura ambiente mediante un sensore FBG incapsulato in un contenitore di acciaio inossidabile appositamente progettato per misure di temperatura (Figura 12).



Figura 12. Sensore FBG di temperatura

Le piastre saranno sottoposte a prove di trazione e di flessione a 4 punti (secondo la norma *IEC 61757-1-1 Edition 1.0 2016-02*) mediante una macchina universale Inston 3369 e le deformazioni indotte sugli FBG saranno misurate mediante un interrogatore ottico National Instruments PXIe-4844.

3.1.2 Procedura di incollaggio

Da esperienze in altri progetti di ricerca è risultato che la resina migliore per l'incollaggio dei sensori su supporti di tipo metallico è l'araldite in particolare in passato è stata usata “Araldite 2011” con ottimi risultati sia di trasferimento della deformazione dal supporto al sensore sia di tenuta nel tempo. Pertanto anche nel progetto SENTINEL sarà usata “Araldite 2011” e ovviamente



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

è quella che sarà usata nelle prove meccaniche oggetto del presente report.

L'Araldite® 2011 è un adesivo epossidico bicomponente caratterizzato da:

- lungo tempo di lavorabilità
- basso ritiro
- buona resistenza ai carichi dinamici
- ampia varietà di materiali incollabili

Araldite 2011 polimerizza a temperatura ambiente e ha una elevata resistenza. È adatto ad incollare un'ampia varietà di metalli, ceramiche, vetro, gomme, plastiche e molti altri materiali. La resistenza e la durabilità dei giunti incollati dipende da un appropriato trattamento delle superfici.

I tempi di polimerizzazione completa sono variabili a seconda della temperatura. Nella Tabella 3 che segue sono riportati i tempi necessari per ottenere una polimerizzazione tale da ottenere resistenze al taglio per trazioni rispettivamente maggiori di 1 MPa e di 10 MPa.

Temperatura	°C	10	15	23	40	60	100
Tempo di polimerizzazione per raggiungere	ore	24	12	7	2	-	-
RTT > 1MPa	minuti	-	-	-	-	30	6
Tempo di polimerizzazione per raggiungere	ore	36	18	10	3	-	-
RTT > 10MPa	minuti	-	-	-	-	45	7

Tabella 3. Tempi di polimerizzazione per ottenere resistenze a taglio maggiori di 1 MPa e 10 MPa

Descrizione procedura di incollaggio

Come detto la procedura di incollaggio è decisiva per la perfetta tenuta degli elementi incollati senza che si abbiano cedimenti. Le fasi dell'incollaggio seguite sono:

- sgrassaggio dei provini mediante pulizia con acetone per eliminare residui di grasso dovuti a trattamenti con oli delle piastre di acciaio o alla semplice manipolazioni a mani nude dei provini stessi.
- Carteggiatura leggera con carta abrasiva grit.....La carteggiatura ha l'obiettivo di eliminare ossidi superficiali o residui di sporco che non sono stati rimossi con la pulizia con acetone. Inoltre la carteggiatura ha lo scopo di rendere la superficie rugosa in modo da avere una maggiore presa della resina sul provino di acciaio rispetto all'acciaio perfettamente levigato.
- Pulizia con alcool isopropilico per eliminare sia residui della carteggiatura che eventuali residui di sporco che siano depositati dopo le fasi iniziali di pulizia.

Terminata la preparazione dei provini viene effettuata una mascheratura con nastro carta per delimitare la superficie su cui dovrà essere depositata la resina, dato che questa avendo una bassa viscosità tenderebbe a scorrere verso parti superficiali in cui non deve esserci resina (Figura 13).

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

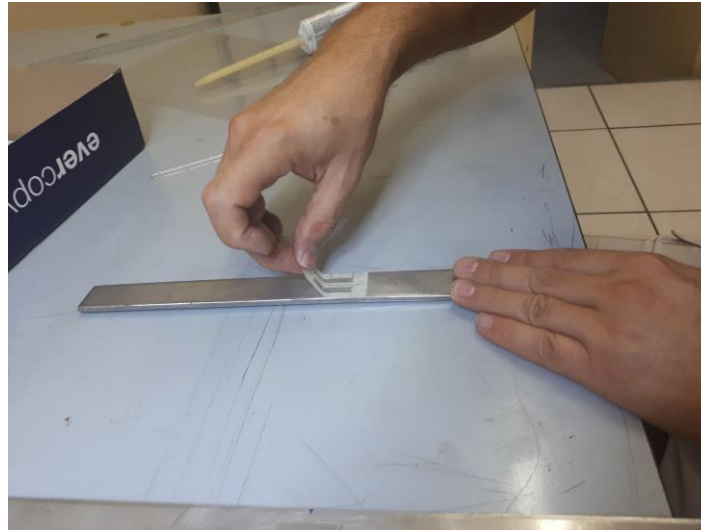


Figura 13. Posizionamento della maschera



Figura 14. Provino dopo la rimozione della maschera

Una volta deposto lo strato di resina (Figura 14) vengono posizionati i sensori FBG all'interno di esso vengono leggermente pretensionati sia per assicurare il perfetto parallelismo tra i due sensori sia per far sì che lavorino in zona lineare anche in caso di compressione del provino. Gli estremi dei sensori vengono incollati con nastro carta al provino di acciaio per mantenere la pretensionatura e per tenere i sensori fissi nella loro posizione fino a che la resina non è completamente polimerizzata (Figura 15).

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”



Figura 15. Posizionamento dei sensori durante la fase di polimerizzazione della resina

3.2 Apparecchiature utilizzate

3.2.1 Macchina a trazione Instron 3369

La macchina utilizzata per tali prove è stata una macchina Instron a trazione 3369 con capacità di carico fino a 50 KN (Figura 16) con software relativo di acquisizione BlueHill 3 in grado di rapportare la deformazione del provino con il carico applicato, una volta impostati le dimensioni del provino e i diversi parametri della prova (velocità, metodo e report).

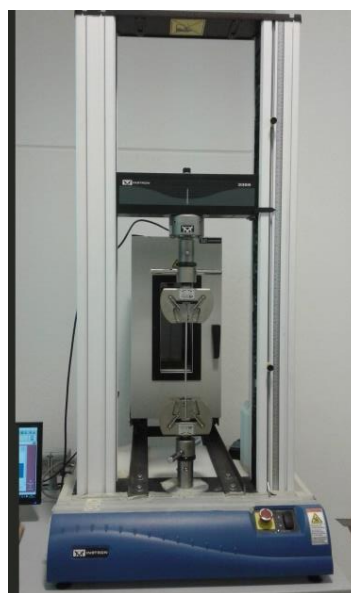


Figura 16. Macchina a trazione Instron 3369

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

Sono riportate in Figura 17 le specifiche della macchina a trazione e il range di variabilità dei parametri da settare per l'esecuzione delle varie prove.

	Capacità di carico			Velocità massima		Velocità di ritorno		Corsa totale della traversa		Spazio di prova verticale totale*		Profondità della gola/Spazio fra le colonne		Altezza		Larghezza		Profondità		Peso con cella di carico tipica	
	kN	kgf	lbf	mm/min	pollici/min	mm/min	pollici/min	mm	pollici	mm	pollici	mm	pollici	mm	pollici	mm	pollici	mm	pollici	kg	libbre
A colonna singola																					
3342	0,5	50	112,5	1.000	40	1.500	60	482	19	651	25,6	100	3,9	900	35,4	382	15	500	19,7	38	83
3343	1	100	225	1.000	40	1.500	60	898	35,4	1.067	42	100	3,9	1.300	51,2	382	15	500	19,7	42	94
3344	2	200	450	1.000	40	1.500	60	898	35,4	1.067	42	100	3,9	1.300	51,2	382	15	500	19,7	42	94
3345	5	500	1.125	1.000	40	1.000	40	885♦	34,8	1.123□	44,2	100	3,9	1.358*	53,5	382	15	500	19,7	51◇	112
A colonna doppia																					
3365	5	500	1.125	1.000	40	1.200	48	1.122	44,2	1.193	47	420	16,5	1.582	62,3	756	29,8	707	27,8	110	242
3366	10	1.000	2.250	500	20	600	24	1.122	44,2	1.193	47	420	16,5	1.582	62,3	756	29,8	707	27,8	110	242
3367	30	3.000	6.750	500	20	600	24	1.122	44,2	1.193	47	420	16,5	1.582	62,3	756	29,8	707	27,8	121	266
3369	50	5.000	11.250	500	20	500	20	1.122	44,2	1.193	47	420	16,5	1.582	62,3	756	29,8	707	27,8	141	312
Modelli da pavimento a colonna doppia																					
3382	100	10.000	22.500	500	20	600	24	1.235	48,5	1.323	51,3	575	22,6	2.393	94,2	1.124	44,3	779	30,7	766	1.690
3384	150	15.000	33.750	500	20	600	24	1.235	48,5	1.323	51,3	575	22,6	2.393	94,2	1.124	44,3	779	30,7	769	1.700
3385H	250	25.000	56.200	500	20	500	20	1.180	46,6	1.282	50,5	575	22,6	2.393	94,2	1.124	44,3	779	30,7	866	1.910

*Lo spazio di prova verticale totale è la distanza dalla superficie superiore della base rispetto alla superficie inferiore della traversa mobile, con esclusione della cella di carico, dei morsetti e dei dispositivi di serraggio.
♦ 1135 mm (44.7 in) □ 1383 mm (54.4 in) * 1628 mm (64.1 in) ◇ 57 kg (126 lb) con opzione extra high

Caratteristiche comuni a tutti i modelli

Accuratezza della misura del carico: ±0,5% del valore letto fino a 1/100 della capacità della cella di carico. Soddisfa o supera i requisiti delle norme ASTM E4, ISO 7500/1, EN 10002-2 e IS B7721.

Accuratezza della misura della deformazione: ±0,5% del valore letto fino a 1/50 del fondo scala con un estensimetro ASTM E83 classe B o ISO 9513 classe 0.5. Soddisfa o supera i requisiti delle norme ASTM E83, ISO 9513 e EN 10002-4.

Figura 17. Dati tecnici della macchina a trazione INSTRON 3369

3.2.2 Interrogatore Ottico National Instruments PXIe-4844

Il sistema di misura delle deformazioni utilizzato per la caratterizzazione dei sensori FBG è stato un interrogatore ottico inserito in un sistema modulare PXI della National Instruments. L'intero sistema di misura è così strutturato:

- un controller PXIe-8135;
- uno chassis PXIe-1062Q;
- un modulo di interrogazione ottico PXIe-4844 per sensori FBG;
- un PC portatile dotato di software LabVIEW per l'acquisizione, la visualizzazione grafica e l'elaborazione dati.

Il controller PXIe-8135 è dotato di un sistema operativo dual boot Windows/LabVIEW Real-time. Questo permette due modalità operative: la prima, preferibile in laboratorio, mediante un software dedicato, *NI-OSI Explorer*, gestisce l'acquisizione e la visualizzazione grafica dei dati misurati dai sensori FBG inseriti sulle fibre ottiche (deformazioni o variazioni di temperatura); la seconda, preferibile per applicazioni stand-alone sul dimostratore, permette di scrivere ed eseguire codice

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL**“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”**

definito dall'utente, in ambiente LabVIEW sul pc portatile e scaricabile in un secondo momento sul controllore, per azioni di memorizzazione dati, controllo in remoto ed elaborazione dei dati acquisiti in modalità real-time dai sensori FBG.

Il modulo di interrogazione ottico PXIe-4844 rappresenta il modulo principale per il nostro sistema di misura. Possiede quattro canali ottici a campionamento simultaneo, fino a 10 Hz, collegabili direttamente ai sensori FBG di temperatura e deformazione mediante connettori standard FC/APC e una sorgente laser variabile nel range di lunghezza d'onda da 1510 nm a 1590 nm, in grado di eseguire la scansione fino a 20 sensori FBG per canale (Figura 18).



Figura 18. Sistema modulare PXI National Instruments con interrogatore ottico per sensori FBG

Il sistema di acquisizione è eventualmente espandibile in quanto modulare e pertanto è possibile integrare sullo stesso chassis PXIe-1062Q altri moduli PXI a cui collegare altre tipologie di sensori, come pressione, umidità relativa, ecc. Una volta terminata l'installazione sia hardware che software dell'interrogatore ottico, si è passati alla fase di test e caratterizzazione di due diverse tipologie di sensori FBG uno in acrilato recoating acrilato e l'altro sempre in acrilato ma con recoating poliammide.

Il software di acquisizione dati dai sensori FBG è stato implementato in ambiente LabVIEW, riceve in ingresso un file di configurazione .csv costruito con il software di visualizzazione in tempo reale NI-OSI Explorer che permette di configurare i sensori FBG in acrilato e in poliammide collegati ad un canale dell'interrogatore ottico come sensori di deformazione, in modo tale da acquisire in tempo reale la deformazione rilevata dal sensore come variazione della lunghezza d'onda rispetto alla λ_B in nm (Figura 19).

PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL
“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

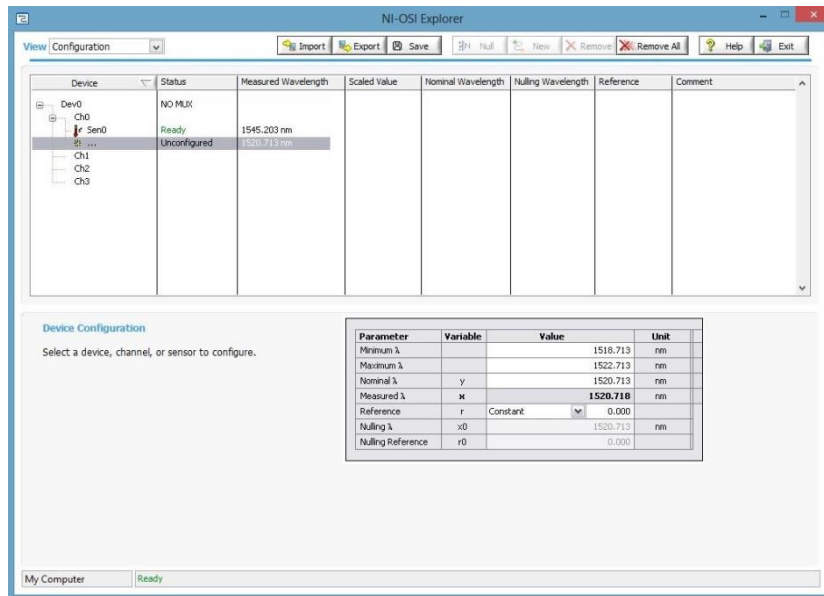


Figura 19. Configurazione dei sensori con NI-OSI Explorer

Il software .vi implementato in ambiente LabVIEW legge i valori delle lunghezze d’onda acquisiti dai 2 sensori collegati all’interrogatore ottico PXIe-4844, ad una frequenza di 10Hz, e li memorizza in un file distinto per prova .tdms compatibile con i comuni fogli elettronici commerciali (Figura 20). Questi dati sono stati poi elaborati per risalire alla deformazione in $\mu\epsilon$ ($\mu\text{m}/\text{m}$), noto il gauge factor k dei sensori FBG.

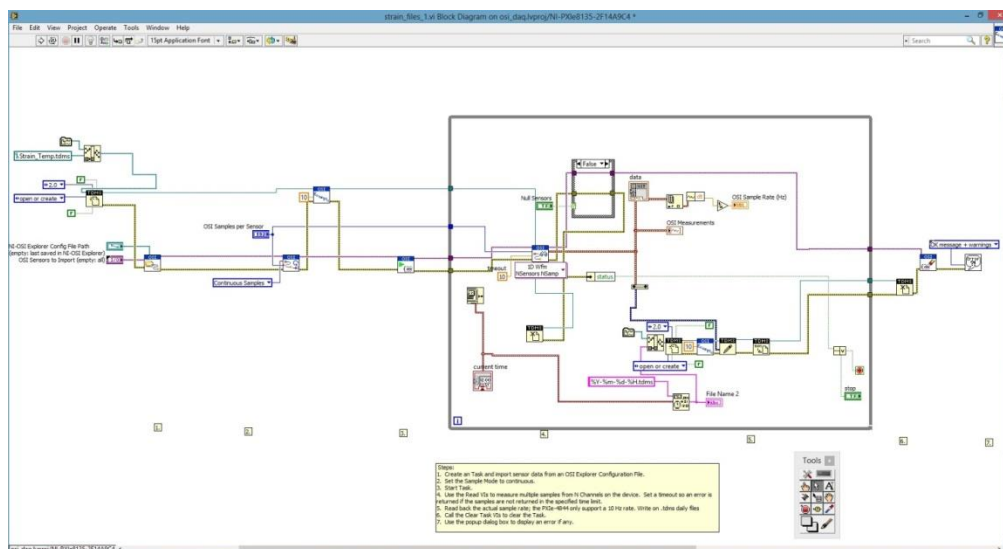


Figura 20. Block Diagram del .vi in ambiente LabVIEW per l’acquisizione dati dai sensori FBG

3.3 Piano sperimentale per la caratterizzazione dei sensori FBG

Per effettuare la caratterizzazione delle due tipologie di sensori FBG considerati si è utilizzato un sistema in divisione di frequenza, le cui componenti sono essenzialmente:



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

- La sorgente laser di classe 1 interna all'interrogatore NI PXIe-4844 che invia il segnale ai sensori FBG;
- I 10 sensori FBG con lunghezze d'onda comprese tra 1510 e 1590 nm e, per evitare sovrapposizioni del segnale, c'è una differenza di almeno 4-5 nm tra i sensori;
- L'interrogatore ottico PXIe-4844 National Instruments che analizza il segnale di ritorno riflesso dai sensori FBG L'interrogatore ottico;
- L'elaborazione è affidata ad un software in LabView che analizza il segnale proveniente dall'interrogatore ottico e contenente simultaneamente le informazioni date dai i sensori, esegue il fitting e salva le lunghezze d'onda lette in un file.

I provini sensorizzati da testare sono i 5 riportati in Tabella 4.

	λ_{Bpoly} [nm]	λ_{Bacry} [nm]
Provino 1	1541	1530
Provino 2	1553	1535
Provino 3	1557	1540
Provino 4	1537	1545
Provino 5	1533	1550

Tabella 4. Lunghezze d'onda di Bragg nominali dei sensori incollati sui cinque provini

3.3.1 Descrizione del programma di prove previsto

Le prove di trazione saranno effettuate prima su provini di acciaio non sensorizzate per caratterizzarne il comportamento meccanico in modo da evitare che durante la fase di test il provino di acciaio passi nella fase plastica, dovendo poi sottoporre gli stessi provini a cicli di trazione-rilascio o flessione-rilascio per valutarne il comportamento nel tempo in seguito a sollecitazioni cicliche come quelle che si verificheranno sulla piastra finale montata in autostrada a causa dei successivi passaggi dei veicoli.

Poiché, da esperienze precedenti, la massima deformazione che ci aspettiamo sull'FBG a causa del passaggio di un mezzo pesante non supera i 500 $\mu\epsilon$ la deformazione applicata mediante la macchina a trazione sarà di 1000 $\mu\epsilon$ per sottoporre il sistema a deformazioni che possano verificarsi in casi eccezionali.

La prova per ciascun provino sarà costituita da tre cicli così strutturati:

1. Iniziale trazione fino a 300 $\mu\epsilon$ per precarico iniziale;
2. Mantenimento della situazione di precarico per 2 minuti;
3. Restart della macchina per una trazione che porti a una deformazione di ulteriori 1000 $\mu\epsilon$;
4. Scarico della macchina.

Alla fine dei tre cicli sarà eseguito un quarto ciclo identico ai primi tre ma con un mantenimento del provino in trazione alla deformazione raggiunta al punto tre per 5 min.

La fase di precarico si rende necessaria per depurare la prova da eventuali iniziali cedimenti delle ganasce della macchina a trazione e soprattutto per attendere che il sistema supporto-resina-sensore si stabilizzi dopo i possibili iniziali scorrimenti alle due interfacce: piastra-resina e resina-sensore oltre che a possibili scorrimenti tra recoating e parte sensibile della fibra.

Al termine delle prove di trazione saranno effettuate prove di flessione a quattro punti con gli stessi criteri della prova di trazione.

I provini successivamente saranno sottoposti a cicli invecchiamento accelerato in camera climatica



PROGETTO DI RICERCA E SVILUPPO SENTINEL

“SISTEMA DI PESATURA DINAMICA INTELLIGENTE PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO PESANTE”

per valutare gli effetti della temperatura, dell'umidità e del sale sulla durabilità della resina e dei sensori stessi.

Tali effetti riprodurranno quella che accadrà sulla WIM nella realtà a causa di variazioni termiche, piogge ed eventuale sale sparso sulla sede stradale in occasione di nevicate.

Alla fine delle prove di aging accelerato i provini saranno di nuovo sottoposti a prove di trazione e flessione per valutare se è variata la tenuta della resina e se sono ancora in grado di darci misure affidabili di deformazione. I dati ottenuti saranno utili per valutare dopo quanto tempo le prestazioni si degradano a tal punto da richiedere una sostituzione dei sensori o una ricalibrazione della WIM.