



**Progetto TECHEA - Technologies for Health
WorkPackage WP3**

Attività A3.2: sistemi indossabili sensorizzati.

**DELIVERABLE D3.2.2: Rapporto tecnico su specifiche tecniche e prove per il prototipo di sensori
indossabili**

*Michele Arturo Caponero, Rosaria D'Amato, Valerio Orsetti, Andrea Polimadei, Gaetano
Terranova*

2 Novembre 2020

INDICE

<u>1. INTRODUZIONE</u>	<u>4</u>
1.1. INGEGNERIZZAZIONE DEL SISTEMA INDOSSABILE, MEDIANTE SENSORI BASATI SU TECNOLOGIA IN FIBRA OTTICA DI TIPO PUNTUALE E DISTRIBUITO CONTINUO, CON PROVE DI ACCOPPIAMENTO DI SENSORI BASATI SU TECNOLOGIA PIEZOELETTRICA E CAPACITIVA.....	4
1.2. PROVE DI CARATTERIZZAZIONE DEI SENSORI INTEGRATI IN WEARABLE TIPO MANICOTTI E BAND/STRAP	4
1.3. SENSORI DI UMIDITÀ PER LA SUDORAZIONE	5
<u>2. SENSORI INGLOBATI IN SAGOMATI POLIMERICI</u>	<u>5</u>
<u>3. SENSORI DI UMIDITÀ PER LA SUDORAZIONE</u>	<u>7</u>
<u>4. STUDIO FINALIZZATO DELLA TECNOLOGIA LPG</u>	<u>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</u>

INDICE DELLE TABELLE E DELLE FIGURE

Figura 1 - Principio di funzionamento del SGD	6
Figura 2 - Confronto fra i dati acquisiti con il device in prova (sinistra) e con un sistema ottico commerciale (destra)....	7
Figura 2 - schema dell'elemento sensibile del dispositivo dove sono evidenziate le diverse parti: la fibra FBG (1), la matrice polimerica in Dragon Skin 20 (2), il reticolo funzionalizzato con agar (3) e il contenitore realizzato in PLA (4).Confronto fra i dati acquisiti con il device in prova (sinistra) e con un sistema ottico commerciale (destra).	9
Figura 4 - Risposta dei sensori funzionalizzati con agar alle variazioni di RH: a) sensori ricoperti con agar al 1% in peso; b) sensori ricoperti con agar al 2% in peso	10
Figura 10 - Variazione discreta di RH (in blu) e la risposta dei sensori FBG funzionalizzati con a) Agar 1% in peso; b) Agar 2% in peso.	11

1. Introduzione

Obiettivo del workpackage TECHEA-WP3 A2 è lo sviluppo di un indossabile tipo “smart T-shirt” dotato prevalentemente di sensori basati su tecnologia in fibra ottica, per il monitoraggio di parametri biometrici nel corso di pratiche diagnostiche e di medicina sportiva; della condizione di stasi di pazienti sottoposti a trattamenti radiogeni.

Tutte le attività sono state svolte in stretta collaborazione con l'Università Campus Bio-Medico di Roma in continuità con la collaborazione scientifica già in essere.

Di seguito vengono presentate in sintesi le attività svolte nel corso del secondo anno di attività del progetto.

1.1. INGEGNERIZZAZIONE DEL SISTEMA INDOSSABILE, MEDIANTE SENSORI BASATI SU TECNOLOGIA IN FIBRA OTTICA DI TIPO PUNTUALE E DISTRIBUITO CONTINUO, CON PROVE DI ACCOPPIAMENTO DI SENSORI BASATI SU TECNOLOGIA PIEZOELETTRICA E CAPACITIVA

È stata svolta l’ottimizzazione del design degli stampini per la realizzazione dei sensori per il monitoraggio dell’area dorsale, sia con riferimento al monitoraggio dei movimenti dei compartimenti interessati dai movimenti dovuti alla respirazione, sia con riferimento al monitoraggio del battito cardiaco. La ottimizzazione del design ha riguardato principalmente la soluzione dei problemi connessi alla protezione della fibra ottica all’ingresso/uscita dell’involucro polimerico che ingloba l’elemento sensiente in fibra ottica.

1.2. PROVE DI CARATTERIZZAZIONE DEI SENSORI INTEGRATI IN WEARABLE TIPO MANICOTTI E BAND/STRAP

È stata svolta l’attività per lo sviluppo e la sperimentazione di impugnature sensorizzate per le prove di riflessi indotti in neonati. Le impugnature sono prodotte mediante stampa 3D e strumentate con sensori a reticolo di Bragg (FBG) applicati mediante incollaggio strutturale. Lo svolgimento delle prove sperimentali ha avuto luogo presso il Imperial College of London nell’ambito delle attività di collaborazione con l’Università Campus BioMedico di Roma per la tesi di dottorato dell’Ing. Daniela Lo Presti, ospite MNF.

È stata svolta anche attività di prove sperimentali per la caratterizzazione di band/strap per il monitoraggio della zona cervicale, ottimizzati per il monitoraggio della postura a videoterminale.

1.3. SENSORI DI UMIDITÀ PER LA SUDORAZIONE

È stata svolta attività di sviluppo del prototipo, in particolare per il conferimento di adeguata proprietà di resistenza meccanica ed alla manipolazione del sistema. La soluzione provata prevede la protezione della fibra ottica, preventivamente funzionalizzata con agar, mediante inglobamento in polimero silossanico commerciale. Il prototipo è stato positivamente provato in camera climatica determinando sensibilità e tempi di risposta.

2. Sensori inglobati in sagomati polimerici

2.1. IMPUGNATURE SENSORIZZATE PER PROVA DI RIFLESSI INDOTTI IN NEONATI

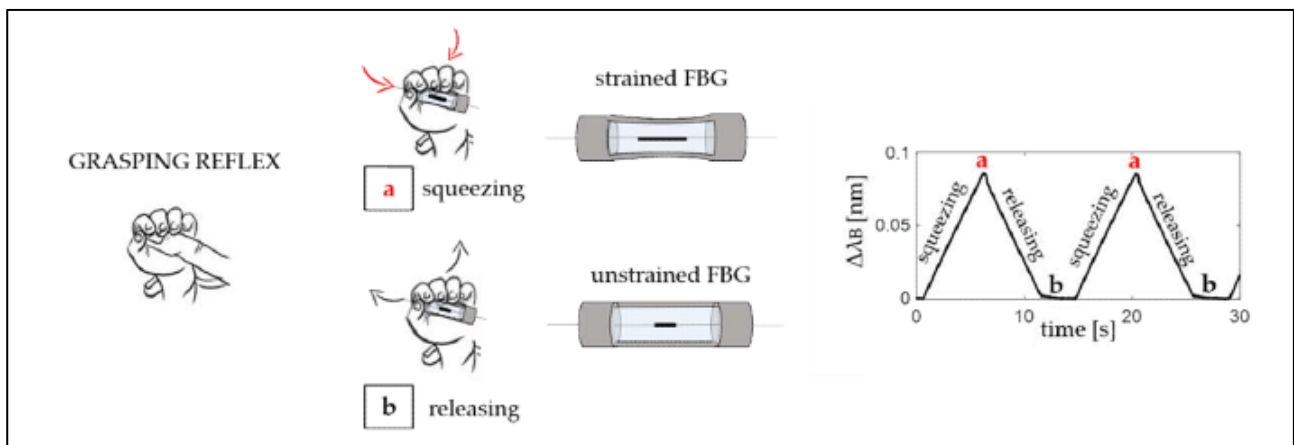
La presa è il comportamento motorio dominante che favorisce le prime interazioni di un neonato con l'ambiente circostante. I modelli di presa atipici possono essere predittivi di disturbi e lesioni neuromotorie; tuttavia, la loro valutazione clinica soffre della soggettività dell'esaminatore e la neuropatofisiologia è poco compresa. Pertanto, la combinazione della tecnologia con la risonanza magnetica funzionale (fMRI) può aiutare a mappare preziosamente le risposte somatosensoriali che affrontano le malattie cerebrali verso migliori risultati funzionali.

L'attività svolta ha avuto luogo presso il Imperial College of London nell'ambito delle attività di collaborazione con l'Università Campus BioMedico di Roma per la tesi di dottorato dell'Ing. Daniela Lo Presti, ospite MNF.

L'attività ha condotto alla realizzazione del primo dispositivo compatibile con la fMRI, cioè un dispositivo intelligente afferrabile, (SGD, smart Grasping Device) per rilevare azioni di presa nei neonati. L'immunità alle interferenze elettromagnetiche (EMI) è garantita tramite un sensore FBG, intrinsecamente a prova di EMI. Inoltre, la sua biocompatibilità e l'assenza di segnali elettrici che si propagano attraverso la fibra, rafforzano la sicurezza del bambino. In primo luogo, sono stati definiti il design, la fabbricazione e la caratterizzazione metrologica del SGD, seguiti da valutazioni preliminari sia su un neonato pretermine che su un adulto e anche durante fMRI. I risultati promettenti favoriscono l'applicazione del SGD durante la fMRI per identificare risposte somatosensoriali guidate da compiti, valutare tempestivamente i disturbi neuromotori e stabilire programmi di riabilitazione su misura che sfruttano la plasticità cerebrale sin dai primi giorni di vita.

La figura 1 mostra schematicamente il principio di funzionamento (da lavoro pubblicato su Sensors). L'azione di presa indotta è per il dito dell'adulto; l'effetto sul SGD comporta la sollecitazione a trazione del sensore che fornisce un segnale proporzionale alla trazione stessa. La risposta dinamica del sistema garantisce la possibilità di uno approfondito studio dei tempi di risposta allo stimolo.

Figura 1 - Principio di funzionamento del SGD



La struttura portante del sensore è in PLA (acido polilattico), un polimero dell'acido lattico. La struttura in PLA è un cilindro cavo e con parete non continua, tipo gabbia cilindrica a sbarre, con le sbarre che fungono da tiranti. L'elemento di rilevamento incorporato nella struttura PLA è costituito da un sensore FBG inglobato in un cilindro pieno realizzato in Dragon Skin (prodotto commerciale silossanico).

L'incapsulamento prevede:

- la fibra ottica è sospesa in asse all'interno della struttura in PLA con pretensionamento del sensore FBG;
- la struttura in PLA viene posta all'interno di uno stampo per permettere il riempimento della cavità senza fuoriuscite del materiale colato. Il materiale viene sintetizzato miscelando le parti componenti e quindi colato nello stampo;
- viene effettuato un processo di cura prima dell'estrazione del SGD dallo stampo.

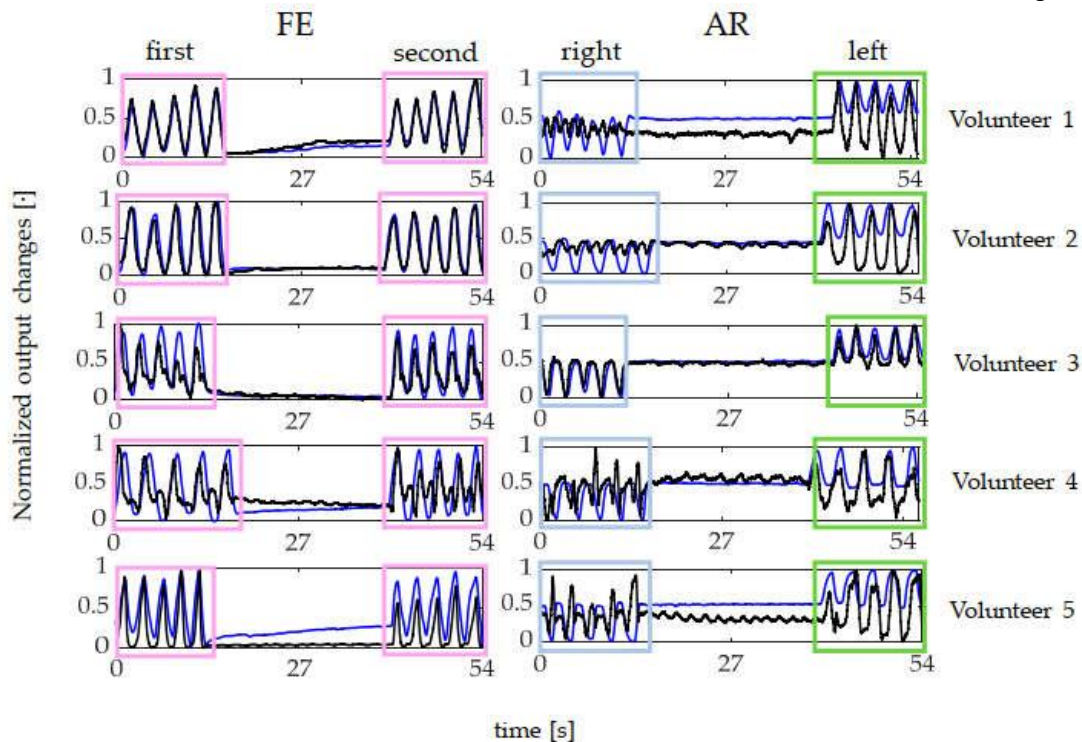
Il SGD prodotto in varie realizzazioni prototipali è stato caratterizzato in laboratorio e con una macchina universale per effettuare prove di compressione, dopodiché è stato testato con pazienti neonati, presso il St Thomas' Hospital, London, UK.

I risultati della sperimentazione sono in fase di pubblicazione sulla rivista scientifica Sensors a firma di tutto il gruppo di ricerca in collaborazione.

2.2. CARATTERIZZAZIONE DI BAND/STRAP PER IL MONITORAGGIO DELLA ZONA CERVICALE

L'attività ha considerato un dispositivo ottimizzato per effettuare misure finalizzate al monitoraggio della postura che porta a disturbi muscoloscheletrici, fra i più diffusi per i lavoratori del computer. Il dispositivo è un sistema indossabile multiparametrico basato su due sensori a FBG ed è proposto per monitorare i movimenti del collo e la respirazione durante l'attività dei lavoratori informatici. Gli elementi sensibili sono stati posizionati sul collo, nella parte frontale e nei piani sagittali, per monitorare sia ripetizioni di flessione-estensione e rotazione assiale sia la frequenza respiratoria. I test sono stati eseguiti su cinque volontari che hanno eseguito ognuno cinque ripetizioni di movimenti flessione-estensione e rotazione assiale e dieci respiri, sia di respirazione tranquilla che di tachipnea. I risultati conseguiti hanno mostrato le buone prestazioni del dispositivo rispetto ai sistemi commerciali in uso, che si basano su osservazioni di tipo fotogrammetrico con apposizione di target sul paziente. Il dispositivo risulta in grado di seguire con adeguata rapidità i movimenti del collo (sia flessione-estensione che rotazione assiale) e di stimare la frequenza respiratoria respiro per respiro con buona precisione. Il dispositivo risulta in uno stadio di realizzazione prototipale iniziale e se ne prevede lo sviluppo tecnologico e l'ingegnerizzazione. La figura 2 (tratta da una pubblicazione sul lavoro svolto) mostra un esempio di confronto dei dati acquisiti con il dispositivo in prova e con un sistema ottico commerciale.

Figura 2 - Confronto fra i dati acquisiti con il device in prova (sinistra) e con un sistema ottico commerciale (destra).



3. Sensori di umidità per la sudorazione

Richiamiamo che per il monitoraggio della sudorazione il sensore FBG viene funzionalizzato con un materiale igroscopico che rende il sensore sensibile alle variazioni di umidità, parametro da utilizzare per la valutazione della entità della sudorazione.

I materiali usati per la funzionalizzazione sono tipicamente polimeri di origine naturale che quindi non presentano criticità per la tossicità e biocompatibilità; in TECHEA sono stati considerati l'agar ed il chitosano.

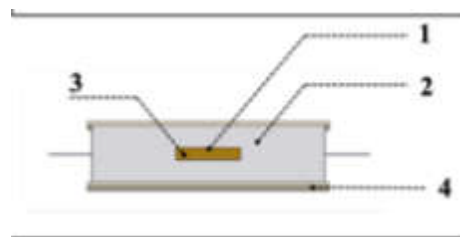
3.1. DISPOSITIVO PER IL MONITORAGGIO DELLA FREQUENZA RESPIRATORIA

Un aspetto critico del sensore inglobato nel polimero igroscopico è la 'robustezza', in quanto il polimero stesso non è in grado di proteggere la fibra. Per trovare soluzione a tale criticità è stato messo a punto un sensore basato su un FBG incapsulato in un coating parzialmente a doppio strato: incapsulamento del sensore tal quale in agar, per funzionalizzarlo con riferimento all'umidità; incapsulamento di questo sistema in una seconda matrice polimerica, ma non isolando la parte sensente, per aumentarne la robustezza. La matrice polimerica selezionata per aumentare la robustezza del dispositivo è un prodotto commerciale di tipo silossanico, il Dragon Skin. Il

Dragon Skin è disponibile in alcune varianti per specifiche formulazioni; le prove in ambito TECHEA sono state svolte con il Dragon Skin 20.

Il design del sistema è schematizzato in Figura 3: il Dragon Skin è usato per incapsulare la fibra, ma lasciando libera la parte funzionalizzata con agar.

Figura 3 - schema dell'elemento sensibile del dispositivo dove sono evidenziate le diverse parti: la fibra FBG (1), la matrice polimerica in Dragon Skin 20 (2), il reticolo funzionalizzato con agar (3) e il contenitore realizzato in PLA (4). Confronto fra i dati acquisiti con il device in prova (sinistra) e con un sistema ottico commerciale (destra).



Il dispositivo così realizzato è stato caratterizzato per verificarne la sensibilità alla variazione di umidità relativa (RH) e per stimarne il tempo di risposta, fondamentale per poterlo utilizzare per misure da correlare alla determinazione della frequenza respiratoria. I risultati degli esperimenti, eseguiti con prove in camera climatica, mostrano un ottimo comportamento del dispositivo per quanto riguarda entrambe le specifiche. Il sensore infatti risponde con costante di tempo sufficientemente piccola e la misura di RH ha buona riproducibilità.

Il sensore è stato anche montato su un dispositivo realizzato per monitorare la frequenza respiratoria dal flusso respiratorio nasale ed è stato testato su un gruppo di volontari, mostrando ancora delle ottime performances e riuscendo a distinguere la frequenza respiratoria durante una respirazione lenta, normale e affannata.

3.2. FUNZIONALIZZAZIONE DEL SENSORE FBG CON AGAR

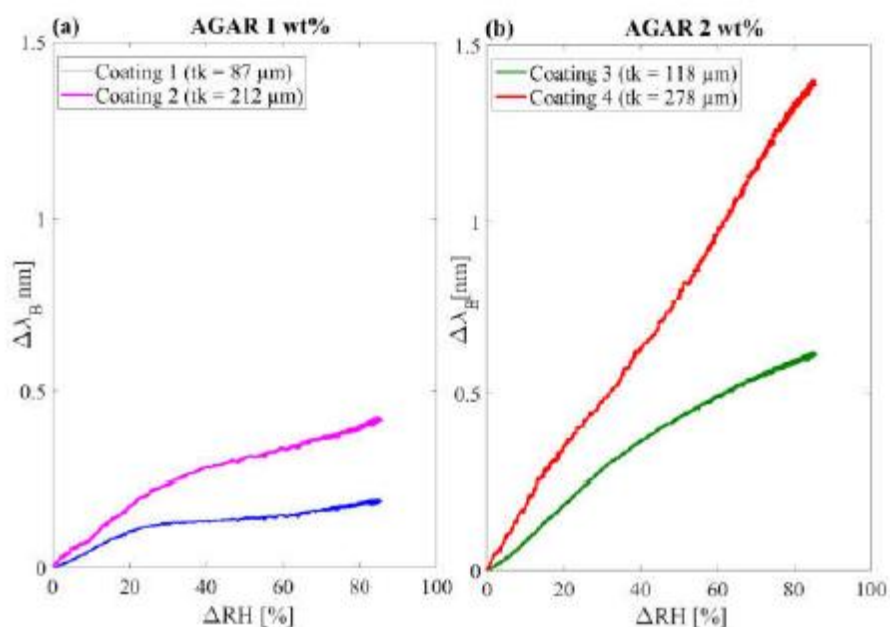
La funzionalizzazione del sensore con agar è il risultato di un lavoro di caratterizzazione per verificare l'influenza del materiale e delle sue caratteristiche, come lo spessore e la concentrazione della soluzione di partenza, sulle proprietà metrologiche statiche e dinamiche del dispositivo risultante. L'agar è stato scelto come materiale per la copertura dei sensori grazie alla sua bassa tendenza ad evaporare, la sua biocompatibilità e la buona adesione al vetro. L'agar è costituito da agarosio e agaropectina, due polisaccaridi lineari, è solubile in acqua bollente e la sua soluzione in acqua forma un gel dopo raffreddamento a $T=35-45^{\circ}\text{C}$.

Sono stati realizzati 4 sensori FBG funzionalizzati con agar utilizzando due diverse concentrazioni di agar in H₂O (1% e 2% in peso) e due stampini di diverse dimensioni (0,8 × 0,8 mm e 1,4 × 1,4 mm per 5 cm di lunghezza). I 4 sensori così ottenuti hanno 4 spessori diversi, misurati utilizzando un microscopio ottico, e sono: 87, 118, 212, 278 μm. Utilizzando una camera climatica appositamente realizzata i 4 sensori sono stati sottoposti a variazioni controllate di RH per la loro calibrazione statica e per lo studio della loro risposta dinamica. I risultati hanno mostrato una dipendenza quasi lineare della risposta del sensore dalle variazioni di RH con una sensibilità che è funzione della concentrazione e dello spessore dei sensori.

In Figura 4 sono riportati i grafici relativi alla calibrazione statica dei sensori in cui si evidenzia tale dipendenza: risulta chiaro che la sensibilità del sensore aumenta all'aumentare dello spessore e della concentrazione di agar.

In vista delle loro diverse applicazioni, è importante stabilire anche i tempi di risposta dei vari sensori e come questi vengono influenzati dai due parametri in studio, cioè concentrazione e spessore. Per questo i sensori sono stati sottoposti a test in cui RH veniva variata in step successivi.

Figura 4 - Risposta dei sensori funzionalizzati con agar alle variazioni di RH: a) sensori ricoperti con agar al 1% in peso; b) sensori ricoperti con agar al 2% in peso



I risultati sono mostrati in Figura 5 e rivelano che il tempo di risposta più breve si riscontra a bassi spessori e a basse concentrazioni.

Figura 5 - Variazione discreta di RH (in blu) e la risposta dei sensori FBG funzionalizzati con a) Agar 1% in peso; b) Agar 2% in peso.

