

ARDUINO

“Automazione” è il termine che identifica la tecnologia utilizzata per gestire macchine e processi con un ridotto intervento da parte dell’uomo.

Arduino è una scheda elettronica di piccole dimensioni, costituita da un microcontrollore programmabile e una circuiteria di contorno in grado di manipolare segnali analogici e digitali. Il software è free-user e l’hardware è riproducibile. La versione più comune di Arduino (nonché quella utilizzata durante il corso) è l’Arduino Uno, il cui microcontrollore ATmega328 è caratterizzato da:

- Tensione operativa: 5V DC;
- 20 Pin I/O;
- Max 40 mA di corrente erogabile da ogni pin, max 200 mA di corrente totale erogabile;
- Memoria flash di 32 kB.

Differenza microprocessore/microcontrollore

<p>Un microprocessore è costituito da:</p> <ul style="list-style-type: none">○ ALU○ Circuiti di controllo e temporizzazione○ Registri○ Bus <p><u>e per funzionare ha bisogno di:</u></p> <ul style="list-style-type: none">○ Memorie○ Interfacce I/O○ Alimentazione (anche decine di Watt)	<p>Un microcontrollore è costituito da:</p> <ul style="list-style-type: none">○ CPU RISC○ Registri○ Bus○ Piccole memorie○ Porte di I/O○ Alimentazione○ Contatori, timer, convertitore A/D.○ interfacce di comunicazione di vari tipi.
--	---

Pin di I/O

Pin digitali: 2-13, di cui 6 PWM (3, 5, 6, 9, 10, 11); pin di RX e TX (0, 1); pin di Ground (GND).

Pin analogici: 6 pin di input analogico (A0, A1, A2, A3, A4, A5).

I pin PWM regolano la frequenza di clock all’interno della scheda Arduino, poiché un PWM è un segnale caratterizzato da un periodo T e da un duty cycle δ . Per quanto riguarda i pin analogici (A0-A5), dato che ogni pin ha range di valori in ingresso 0-5V e risoluzione di 10bit (0-1023), ogni livello sarà di:

$$\frac{5V}{1023} = 4.88 \text{ mV} \approx 4.9 \text{ mV}$$

Per permettere ad Arduino di interagire e comunicare col mondo esterno c'è bisogno di:

- **Sensori:** dispositivi fisici che leggono un segnale fisico dall'esterno;
- **Attuatori:** dispositivi elettronici che trasformano un segnale elettrico in movimento o altre forme di segnali.

Programmazione in IDE

Le funzioni base sono:

```
void setup()  
{  
  // eseguito una          sola volta  
}  
void loop()  
{  
  // eseguito ciclicamente  
}
```

Arduino WiFi

Per poter utilizzare Arduino per applicazioni wireless è possibile utilizzare dei moduli esterni, come il modulo Wireless ESP8266 che possiede una discreta capacità di elaborazione. Una volta configurato l'IDE con il firmware e le apposite librerie del modulo, si può utilizzare un servizio di controllo e monitoraggio remoto in cloud come Blynk. Gli elementi essenziali sono:

- **Template:** modelli che permettono di progettare l'applicazione IoT mediante i widget messi a disposizione dalla piattaforma;
- **Datastream:** è un flusso di dati (Sensore, Terminale, LED...);
- **Device:** dispositivo hardware in grado di comunicare con la piattaforma.

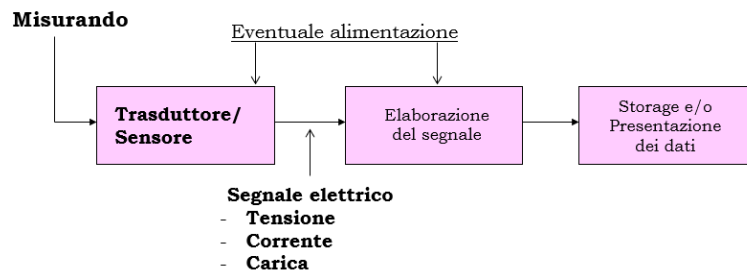
FONDAMENTI DI SENSORI E ATTUATORI

Trasduttore: dispositivo che opera una trasformazione della grandezza fisica che ha in ingresso per restituire in uscita una grandezza fisica di tipo diverso;

Sensore: dispositivo che converte una grandezza o uno stimolo in ingresso (di qualsiasi natura) in una grandezza elettrica;

Attuatore: converte un segnale elettrico in un segnale/grandezza non elettrica (è l'opposto del sensore).

Schema di una catena di misura



Classificazione dei sensori

Sensori attivi e passivi

- **Attivi:** richiedono un'alimentazione per funzionare (termistore, sensibile alla temperatura);
- **Passivi:** non richiedono la presenza di circuiti di alimentazione per funzionare e sono in grado di autogenerare un segnale elettrico in risposta ad uno stimolo esterno (termocoppia, fotodiode).

Sensori assoluti e relativi

- **Absoluti:** rileva uno stimolo in riferimento ad una scala fisica indipendentemente dalle condizioni di misurazione (termistore);
- **Relativi:** produce un segnale relativo a specifiche casistiche (termocoppia):

Sensori diretti ed indiretti

- **Diretto:** sensori progettati specificamente per misurare direttamente una grandezza o un fenomeno. Ad esempio, un termometro misura direttamente la temperatura;
- **Indiretto:** sensori che misurano una grandezza o un fenomeno attraverso una relazione indiretta. Ad esempio, un sensore di pressione atmosferica può essere utilizzato per misurare indirettamente l'altitudine.

Le caratteristiche di funzionamento di un sensore si distinguono in:

- **Statiche:** descrivono le prestazioni per variazioni molto lente del misurando;
- **Dinamiche:** descrivono le prestazioni nel caso in cui il misurando subisca delle variazioni più rapide nel tempo.

Grandezze caratteristiche di un sensore

Funzione di trasferimento

La fdt è il **legame teorico** tra stimolo fisico in input e segnale di output: $Y = f(s)$.

Può essere data in forma di tabella o come equazione matematica, lineare o non lineare.

Errore di isteresi

L'isteresi si verifica quando la caratteristica del trasduttore è differente nei casi in cui il segnale sia in crescita e quello in cui il sistema sia in diminuzione: **l'errore di isteresi** è la massima differenza tra l'uscita nei due casi.

Precisione e accuratezza

- **Precisione:** è una misura di quanto l'uscita è ripetibile su ripetuti esperimenti, in genere indicata fornendo un intervallo di errore massimo oppure una percentuale di errore rispetto al campo di uscita;
- **Accuratezza:** è una misura di quanto l'uscita del trasduttore si scosta da quello che dovrebbe essere la sua uscita ideale: $e_A = \frac{\text{errore}}{\text{valore vero}} 100$

Sensibilità

Rapporto tra la variazione dell'output e la variazione dell'input.

Risoluzione

Minima variazione dell'input che determina una variazione rilevabile nell'output del sensore.

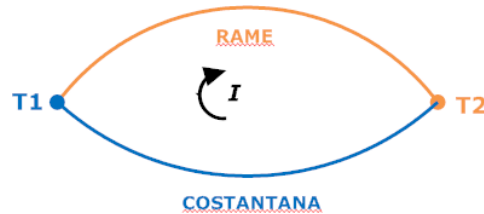
Span e Full Scale Output

- **Span:** è l'intervallo dinamico di ingresso che può essere convertito dal sensore con una incertezza prestabilita;
- **Full Scale Output:** è la differenza fra i segnali di uscita del sensore quando ad esso sono applicati il più alto ed il più basso valore di ingresso.

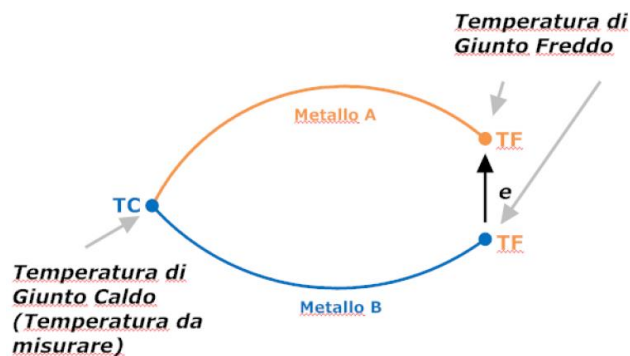
	Fotodiodo	Termocoppia	Sensore umidità relativa
Attivo			X
Passivo	X	X	
Diretto	X	X	
Indiretto			X

TERMOCOPPIA

La termocoppia è un **sensore** in grado di convertire la temperatura applicata ad una delle sue estremità in un segnale elettrico. Sono sensori *passivi* ed il loro principio di funzionamento è basato **sull'effetto Seeback**: quando due spire di metalli diversi sono congiunti tra loro e le giunzioni sono tenute a temperature differenti, si instaura una circolazione di corrente.



Quando la giunzione viene aperta si genera, ai suoi capi, una **forza elettromotrice indotta** (ddp) e che è approssimativamente proporzionale alla differenza di temperatura tra le giunzioni.



$$V = (S_B - S_A) * (T_C - T_F)$$

S_A e S_B indicano i coefficienti di Seeback relativi ai due metalli A e B, T_C e T_F sono le temperature delle due giunzioni.

Caratterizzazione metrologica

Setup sperimentale

- ❖ Termocoppia;
- ❖ Controllore di temperatura;
- ❖ Multimetro

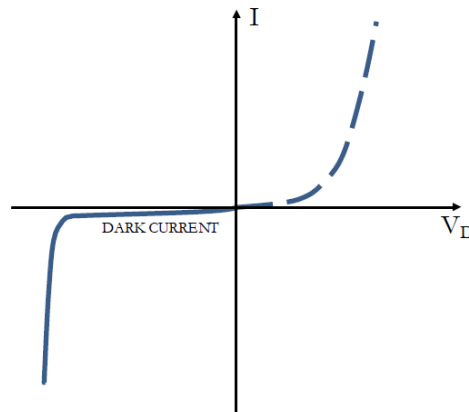
Caratterizzazione

Su un grafico, vengono riportate: variazioni di tensione calcolate precedentemente rispetto ai valori di temperatura, interpolazione dei dati, coefficiente angola della retta di interpolazione (**sensibilità del sensore**).

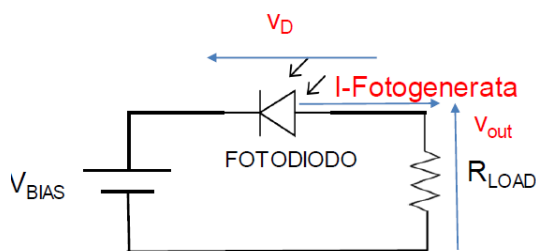
FOTODIODO

Principio di funzionamento

Il fotodiodo è un **sensore** in grado di convertire un segnale ottico in un segnale elettrico.



Nel momento in cui un fotone viene a contatto con la superficie della giunzione, cederà ad essa la sua energia dando vita a nuove coppie elettrone-lacuna. A causa del campo elettrico alla giunzione, le coppie cominceranno a muoversi dando luogo alla **corrente fotogenerata** che va dal lato n al lato p.



Quando la radiazione luminosa arriva sul fotodiodo, viene generata una corrente fotoindotta che circolerà nel diodo e fluirà nella resistenza generando una variazione della tensione di uscita.

Setup sperimentale

- ❖ Fotodiodo;
- ❖ Sorgente laser;
- ❖ Resistore variabile;
- ❖ Multimetro;

$$V_{OUT} = R_{LOAD} \cdot Resp(\lambda) \cdot P_{inc}$$

Caratterizzazione

1. Collegare tra di loro in modo opportuno i dispositivi ed accendere la strumentazione;
2. Tabellare e graficare le variazioni di tensione per ogni valore della potenza ottica applicata;
3. Tramite la retta di interpolazione calcolare il coefficiente angolare (**sensibilità del sensore**);
4. Calcolare la media e deviazione standard relativa percentuale per ogni valore della potenza ottica applicata;
5. Calcolare l'isteresi.

SENSORE DI UMIDITA RELATIVA

Definizioni e principio di funzionamento

- **Umidità atmosferica:** quantità di vapore acqueo contenuto nell'aria e che proviene dall'evaporazione dell'acqua dalla superficie terrestre;
- **Umidità assoluta:** quantità (in grammi) di acqua sono presenti in 1 metro cubo di aria;
- **Umidità di saturazione:** quantità massima (in grammi) di acqua che 1 metro cubo di aria può contenere ad una data temperatura;
- **Umidità relativa, %RH:**
$$RH\% = \frac{\text{Umidità Assoluta}}{\text{Umidità di Saturazione}} \cdot 100$$

Il principio di funzionamento si basa sull'**igrometro a capello**: la variazione dimensionale del capello, dovuta all'umidità ambientale, viene trasdotta nella variazione di resistenza elettrica di un potenziometro o di un estensimetro. Gli igrometri capacitivi si comportano similmente ad un condensatore, in cui il dielettrico è il materiale igroscopico. Il risultato è una variazione della capacità dell'elemento sensibile che si trasforma in un'informazione rappresentativa dell'umidità relativa dell'aria.

Camera climatica

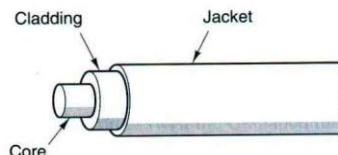
Strumento in grado di simulare specifiche condizioni di temperatura e umidità relativa, completamente isolata dall'ambiente esterno. La taratura del sensore all'interno della camera climatica la si ottiene a temperatura costante, facendo variare RH all'interno di un range prestabilito. La **funzione di taratura** è la relazione che permette di ricavare da ogni valore della grandezza di uscita il corrispondente valore del misurando.

SENSORI IN FIBRA OTTICA

Fibra ottica

La fibra ottica è un **filamento** di materiale dielettrico trasparente (vetro o plastica), solitamente cilindrico, che funge da **binario** per la luce. Un filamento è composto da tre diversi strati:

- **Core** (nucleo): materiale dielettrico trasparente con un indice di rifrazione n_1 ;
- **Cladding**: secondo materiale dielettrico con indice di rifrazione n_2 . Si verifica che: $n_1 > n_2$;
- **Jacket**: strato esterno con funzione di protezione.



Il principio alla base del funzionamento della fibra ottica è quello della **Legge di Snell**:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

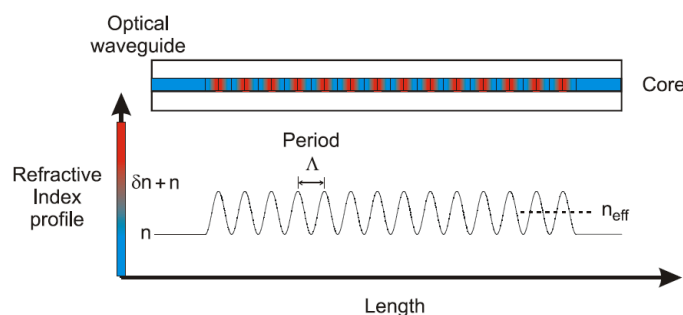
$$n = \frac{\text{velocità della luce nel vuoto}}{\text{velocità della luce nel mezzo}}$$

Alcuni vantaggi della fibra ottica

- Immune alle interferenze elettromagnetiche;
- Sensori passivi -> nessun consumo di energia esterno;
- Piccole dimensioni;
- Ampia larghezza di banda;
- Alta sensibilità.

Reticolo di Bragg

Il reticolo a fibra di Bragg è una piccola lunghezza di fibra ottica che comprende un pattern di molti punti di riflessione e che crea la riflessione di una lunghezza d'onda particolare della luce incidente. Questa struttura può essere creata con un'intensa luce UV che interessa il nucleo della fibra. In pratica, agisce come un filtro di reiezione di banda facendo passare tutte le lunghezze d'onda che non sono in risonanza con le lunghezze d'onda reticolari e riflette tutte quelle che soddisfano la condizione di Bragg.



Metodo olografico

Consiste nel calcolare il nuovo periodo della lunghezza d'onda quando i raggi UV modificano l'indice di rifrazione: $V = \frac{\lambda_{uv}}{2n_{uv} \sin \theta}$

Sensori a reticolo di Bragg e principio di Multiplexing

Centinaia di sensori possono essere realizzati all'interno di una singola fibra ottica modificando il periodo del reticolo: $\Delta\lambda_{B-i} = 2nV_i$

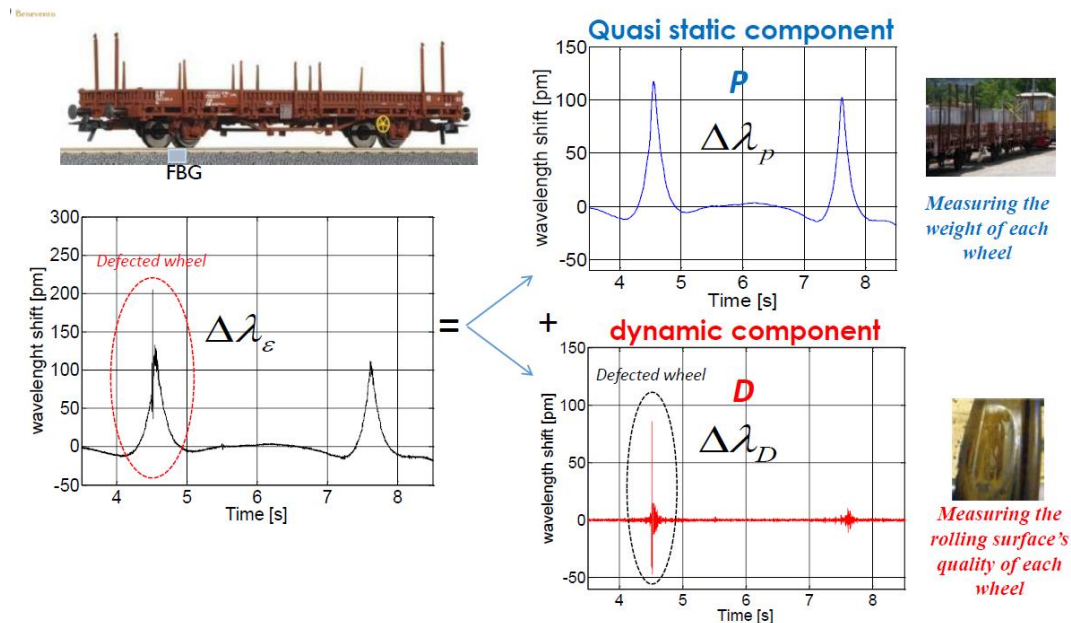
Il numero massimo di sensori è determinato considerando l'intervallo spettrale, la sorgente luminosa e lo spostamento massimo dell'onda di ciascun sensore in base a: $N < \frac{\Delta\lambda_{Source}}{\Delta\lambda_{BMAX}}$

Campi applicativi dei sensori in fibra ottica

Ferrovie smart

Il sempre più frequente bisogno di monitoraggio in tempo reale e continuo delle condizioni operative e strutturali delle linee ferroviarie ha spinto la tecnologia a sviluppare sensori in fibra ottica che svolgessero tali compiti, unendo costi ridotti di manutenzione ed ottimizzazione di performance e capacità. Un singolo FBG collegato al binario provvede a rilevare informazioni relative a: velocità e accelerazione del treno, conteggio degli assi, peso in movimento....

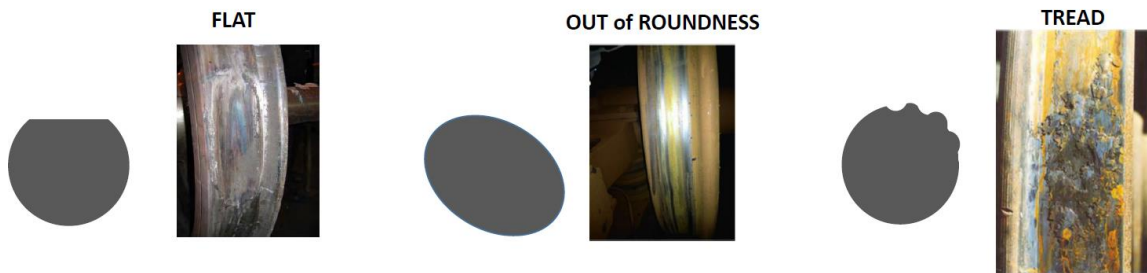
Il **singolo sensore FBG** rileva le forze verticali generate al contatto ruota/binario e restituisce un segnale in output nel tempo composto da diversi picchi: il singolo picco indica il passaggio della ruota nella zona del sensore, mentre la sua **ampiezza** fornisce informazioni sul peso associato alla ruota.



Prima di essere utilizzati operativamente, i sensori FBG devono superare alcuni test, come quello di sollecitazione meccanica, quello di irradiazione solare, quello climatico....

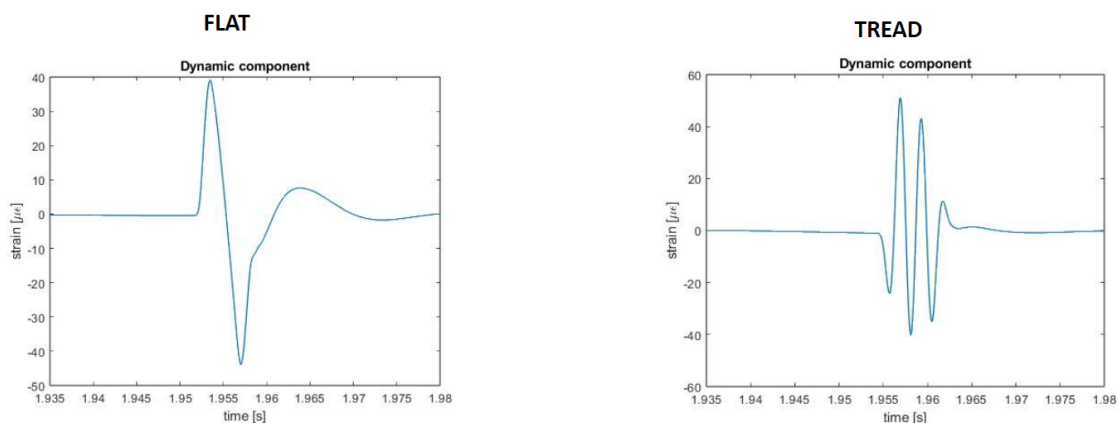
I sensori sono installati in parallelo lungo i due binari (**zona di misura**), ognuno di essi è provvisto di collegamento in fibra ottica; il **locale tecnico** è il luogo in cui l'interrogatore optoelettronico, l'unità di acquisizione e la sorgente di potenza sono installati.

Un sistema di monitoraggio di tipo WILD deve essere in grado di individuare, classificare ed eventualmente quantizzare un difetto della ruota.



La calibrazione del sistema WILD non è semplice, tuttavia si può procedere utilizzando un tool di simulazione opportunamente validato e calibrato. A tal proposito, Hitachi Group e l'Università di Genova hanno messo a punto un modello in grado di simulare l'interazione ruota-rotaia basato su 3 script Matlab: **wheel, train, line**.

Ad esempio, sono state confrontate le componenti dinamiche di FLAT e TREAD:



Ricordiamo che il simulatore si basa sull'ipotesi di perfetto contatto tra ruota e rotaia.

Infine, dopo aver raccolto i dati dalle simulazioni, è stato sviluppato un algoritmo basato su tecniche di intelligenza artificiale e/o Machine Learning in grado di classificare la tipologia dei difetti distinguendoli in Flat, Out Of Roundness, Treads.

Sistema anti-intrusione

Un tappeto ai confini del luogo da proteggere è riempito, al suo interno, di sensori FBG che rilevano la differenza di carico sulla sua superficie: la deformazione è quindi convertita in una lunghezza d'onda che, superata una certa soglia di carico, fa scattare l'allarme.

Applicazioni aeronautiche

L'obiettivo è quello di sviluppare un sistema di monitoraggio di Peso ed Equilibrio di un aeromobile totalmente basato su sensori FGB. La stima accurata di peso e centro di gravità permette infatti di: aumentare il livello di sicurezza, aumentare la stabilità in volo, diminuire il consumo di carburante.

Applicazioni nel campo della fisica ad alta energia

Al CERN, ad esempio, i sensori FBG hanno il compito di rilevare grandezze come temperatura, umidità, pressione, deformazione magnetica indotta.... Inoltre, ci sono specifici requisiti che i sensori FBG devono rispettare per poter essere utilizzati:

- Cablaggio ridotto;
- Resistenza alle radiazioni;
- Immunità elettromagnetica.

Applicazioni mediche: anestesia epidurale

Fino a poco tempo fa, per effettuare un'anestesia epidurale veniva utilizzata la tecnica LOR (Loss Of Resistance): l'ago contenente la soluzione anestetizzante veniva immesso nella zona epidurale finché l'intera soluzione non veniva rilasciata automaticamente per effetto della perdita di resistenza, fenomeno che si verifica quando si arriva alla zona designata. Recentemente è stato sviluppato un ago con fibra ottica integrata che, in tempo reale, controlla l'avanzamento dell'ago fino alla zona epidurale.

Applicazioni mediche: progetto B.A.R.T.O.L.O.

Unisannio ha sviluppato un probe in fibra ottica in grado di rilevare e trasmettere ad un software user friendly informazioni relative alla **rigidità del tessuto prostatico**.