

LED

Il termine "**LED**" sta per "Light Emitting Diode"

I led sono costituiti da materiali in grado di emettere radiazioni luminose quando sono attraversati da una corrente

I led fanno parte della famiglia dei **diodi**, per cui hanno un terminale positivo (**anodo**) e uno negativo (**catodo**) e per funzionare devono essere inseriti in un circuito **rispettando** la **polarità**

Quando si utilizza un led è necessario avere un'**opportuna resistenza** in serie ad esso, affinché venga **limitata** la **corrente** che scorre all'interno e quindi evitare di bruciarlo

La tensione ai capi del led varia in funzione della lunghezza d'onda della radiazione emessa (colore)

FOTORESISTORE

È un tipo di trasduttore sensibile alle radiazioni luminose

È un sensore **analogico**

Per funzionare sfrutta l'effetto fotoconduttivo, dove l'energia irradiante provoca la rottura di legami covalenti nel semiconduttore e fa così aumentare la conducibilità del materiale

Per cui la resistenza varia al variare della radiazione luminosa che colpisce il trasduttore

In generale, **più c'è luce meno** sarà la **resistenza** e quindi **più alta** sarà la **tensione**

DHT11 (UMIDITÀ E TEMPERATURA)

È un sensore **digitale**

L'uscita viene presa sul pin centrale e dà informazioni relative sia all'umidità relativa sia alla temperatura

Quindi con lo stesso sensore riusciamo a misurare parametri diversi

LCD

Per utilizzare lo schermo lcd abbiamo utilizzato un modulo che permette la comunicazione via bus **I2C**

In pratica, con questo protocollo possiamo utilizzare solo 4 cavi: ground, vcc, sda e scl

Per programmarlo, è necessaria la libreria LiquidCrystal_I2C

Nel *setup* è necessario inizializzarlo

Quando si vuole stampare sull'LCD è necessario fare:

- clear
- definire la posizione del cursore

Per stampare alcuni caratteri speciali è necessario utilizzare opportuni codici
Ad esempio: ° → 0xDF

CONTROLLO SENSORI DA REMOTO (ESP)

Il modulo Wireless ESP8266 ha una discreta capacità di elaborazione, per cui permette di gestire diverse periferiche

Oltre a poter essere programmato come una vera e propria scheda di sviluppo, può essere utilizzato come adattatore Wireless-Seriale

In pratica ci permette di **convertire** la comunicazione **seriale** di Arduino, in una comunicazione **Wireless** grazie ad Internet

Ne esistono di vari tipi

ESP-01

Ha due modalità di avvio, a seconda di come sono impostati i pin GPIO:

- **modalità programmazione:** permette di caricare il firmware
- **modalità di boot:** è la modalità che permette di eseguire il programma caricato in memoria

Questo modulo ha 8 pin e supporta un range operativo di tensione 2,5-3,6V

Per questo motivo lo colleghiamo al pin **3,3V** di Arduino

Inoltre ha i pin TX e RX per comunicare con la scheda

I pin di GPIO vengono utilizzati per collegare altri dispositivi

La scheda però può andare in risparmio energia, cioè si spegne, se è connessa per troppo tempo all'alimentazione

Per poter realizzare uno sketch Arduino che prevede l'utilizzo di un ESP è necessario utilizzare l'opportuna libreria

BLYNK

Blynk è un software che permette la prototipazione, lo sviluppo e la gestione remota di dispositivi elettronici

Consente agli utenti di connettere i propri dispositivi hardware al cloud in modo da analizzare i dati in tempo reale e, in funzione di essi, di compiere delle azioni

Ovviamente per trasferire le informazioni dai sensori all'app di Blynk è necessaria una fase di configurazione, in particolare dopo aver installato l'opportuna libreria, è necessario creare un template

Nel template, bisogna configurare i datastreams

Nello specifico noi abbiamo configurato un gauge, un led e una shell

Dopo aver definito il template, bisogna creare un **device** in modo da poter visualizzare i relativi widget del template sullo smartphone

SENSORI

Svolgono un ruolo fondamentale in tutte le piattaforme automatiche o IoT

Gli algoritmi di controllo e il funzionamento degli attuatori dipendono dal corretto funzionamento dei sensori

Da ciò si intuisce che i sensori sono la parte più vulnerabile dei sistemi perché è necessario realizzare sensori selettivi e specifici per la specifica applicazione

Esempio:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Da questa formula è possibile ricavare molti sensori, ma è complicato fare un sensore che è sensibile solo ad un parametro perché ognuno è influenzato da diversi fattori

Handwritten annotations on the formula:

- R is labeled **RESISTIVITA'** with a downward arrow.
- ρ is labeled **RESISTIVITA'** with a downward arrow.
- l is labeled **LUNGHEZZA** with a curved arrow pointing to it.
- S is labeled **SEZIONE** with a curved arrow pointing to it.

I trasduttori, i sensori e gli attuatori hanno la stessa funzione di base: essi realizzano una **trasformazione** della **grandezza** fisica di **ingresso** per fornirne una di tipo **diverso** in **uscita**

In generale quindi effettuano una conversione di energia
Tuttavia, sono utilizzati termini diversi

TRASDUTTORE: è un dispositivo che realizza una trasformazione della grandezza fisica in ingresso in un'altra grandezza in uscita

SENSORE: è un particolare trasduttore il quale converte una qualsiasi grandezza in ingresso in un segnale elettrico

ATTUATORE: può essere visto come l'opposto di un sensore, converte un segnale elettrico in una grandezza non elettrica

Ci occuperemo di sensori perché ci permettono di mettere in comunicazione sistemi diversi, i quali "parlano la stessa lingua".

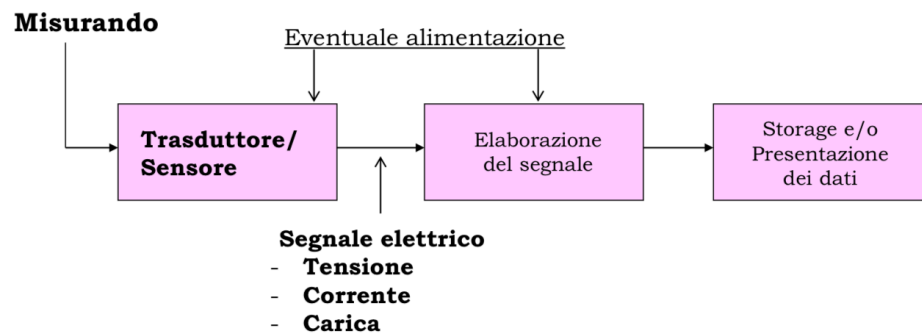
Occorre però fare attenzione ai formati, questi devono essere compatibili

In particolare non possiamo mettere in comunicazione due sistemi in cui il primo ha in uscita 100V e il secondo supporta in ingresso 5V

In generale dove c'è scambio di informazione, c'è bisogno di energia

ENERGIA USCITA < ENERGIA INGRESSO

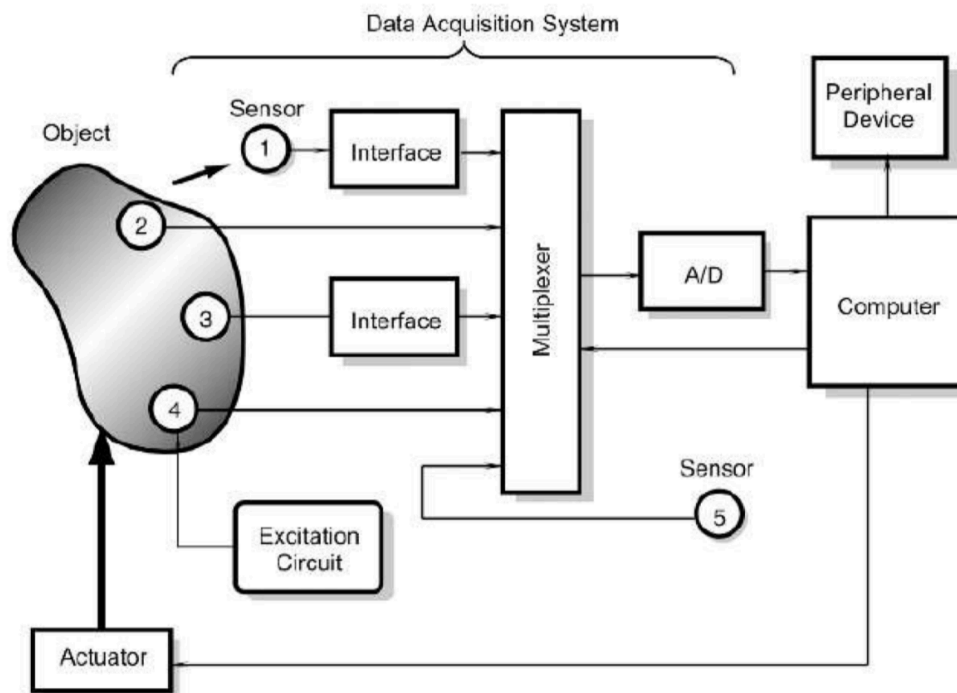
SCHEMA DI MISURA



Si ha una grandezza da misurare

Il primo blocco fa l'operazione di misura e poi il segnale viene elaborato

L'elaborazione nel nostro caso è fatta da Arduino e sulla base dei risultati ottenuti mette in azione degli attuatori



Object: processo da controllare

Ci sono 5 sensori

2, 3 e 4 sono **a contatto** con il processo, mentre 1 e 5 sono all'**esterno**

Il sensore 3 ha bisogno di un'interfaccia perché è necessario condizionare l'uscita affinché sia compatibile con il circuito a valle

4 invece è collegato all'alimentazione

Esistono sensori che richiedono alimentazione esterna (sensori attivi)

In uscita dal MUX è presente un ADC perché alcuni sensori hanno l'uscita analogica

Un **trasduttore** può far parte di un sensore **complesso**

Infatti può anche essere fatta una conversione energetica a step

Esempio: misurazione della concentrazione di un reagente

Per fare ciò, misuriamo la temperatura generata dalla reazione esotermica e poi in cascata aggiungiamo un sensore di temperatura per convertire in un segnale elettrico

Esistono sensori **diretti** e **indiretti**

SENSORI ATTIVI E PASSIVI

- **Attivi:** richiedono alimentazione per funzionare
- **Passivi:** **NON** richiedono alimentazione e sono in grado di autogenerare un segnale elettrico in risposta ad uno stimolo esterno

Allora per il monitoraggio saremmo portati a dire che conviene utilizzare i sensori passivi, ma in realtà non è così

Termocoppia: è un sensore passivo; prende energia termica in ingresso e la trasforma in elettrica senza alimentazione. Il problema è che a grandi variazioni di temperatura, corrispondono piccole variazioni di tensione (μV), quindi per l'elaborazione è necessaria un'amplificazione (di conseguenza serve alimentazione)

Invece utilizzando sensori **attivi** NON è necessario amplificare

La scelta su quale tipo di sensore utilizzare dipende dall'applicazione

I sensori **passivi** sfruttano i seguenti effetti:

- **effetto Seebeck:** in base alle variazioni della temperatura, viene generata una forza elettromotrice
- **effetto piezoelettrico:** materiali sottoposti a sforzi meccanici che producono segnali elettrici
- **effetto fotoelettrico:** al variare della radiazione luminosa, viene generato un segnale elettrico

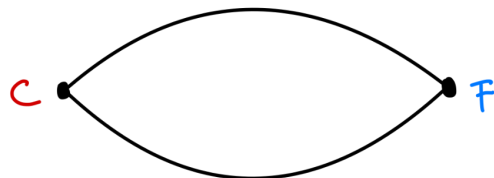
I sensori si distinguono in base a:

- principio di funzionamento
- grandezza da misurare

- settore di destinazione (in genere è il vincolo più grande)
- comportamento energetico

Termocoppia

Due giunzioni metalliche



C = giunzione CALDA

F = giunzione FREDDA

Tra C e F c'è una differenza di temperatura ΔT

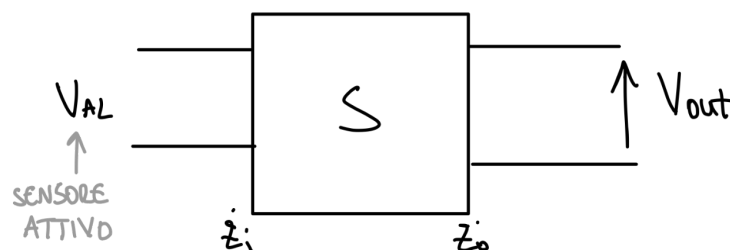
$$V_{FEM} \propto \Delta T$$

Termistore:

È un blocco di silicio con una resistenza

Se cambia la temperatura, cambia il valore della resistenza

Per cui ad un valore di resistenza corrisponde un valore di temperatura



ESEMPIO: vogliamo realizzare un sensore di temperatura basato su resistenza

$$R = f(T)$$

Dire che il sensore è **SENSIBILE** alla temperatura significa che a piccole variazioni di temperatura corrisponda una grande variazione della resistenza

$$\frac{\Delta R}{\Delta T}$$

Il problema maggiore è realizzare un sensore sensibile **solo** alla grandezza che si vuole misurare

Vediamo come caratterizzare un sensore

Funzione di trasferimento: $Y = f(s)$
 USCITA INGRESSO

Sappiamo: $R = f \frac{\ell}{s}$

Supponiamo: $R = kT + q$

Se potessimo $k = f \frac{\ell}{s}$, avremmo un k **NOMINALE**, ma **NON REALE**

Per cui l'approccio più semplice per ricavare la caratteristica è quello sperimentale

Quanti campioni prendiamo per costruire la curva? **Dipende**

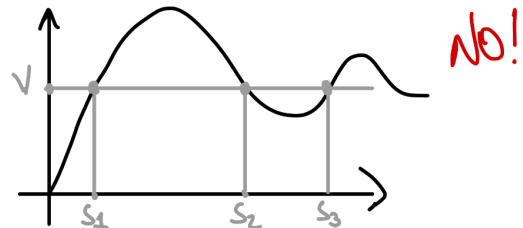
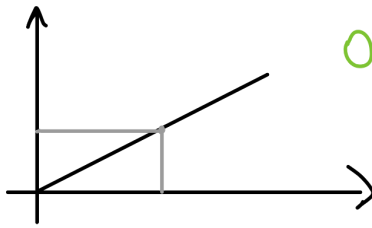
Se la caratteristica è **lineare**, bastano **2** punti

Altrimenti bisogna prendere un certo numero di punti

In generale:

- se si ha una caratteristica **molto variabile**, servono **tanti punti**
- se si ha una caratteristica **poco variabile**, servono **pochi punti**

È fondamentale che la caratteristica del sensore sia **monotona**, perché ci deve essere **univocità**



Idealmente, vorremmo che la caratteristica sia **lineare**

Nella realtà ciò non accade, ma si utilizza la **linearizzazione a tratti**

In pratica, si approssimano i tratti non lineari con lineari

Va però tenuto conto dell'**errore di linearità**

$$\text{ERRORE DI LINEARITÀ} : \frac{\Delta V}{V_{\text{MAX}} - V_{\text{MIN}}} \cdot 100$$

SENSIBILITÀ: è la derivata dell'uscita rispetto all'ingresso

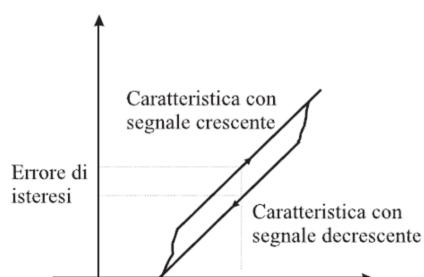
Se il sistema fosse lineare, allora la sensibilità sarebbe **costante**

Altrimenti va calcolata punto per punto

ERRORE DI ISTERESI

Si parla di isteresi quando la caratteristica è differente nei casi in cui il segnale sia in crescita rispetto a quando è in diminuzione

L'errore di isteresi è la **massima differenza tra le uscite nei due casi**



Un sensore con questa caratteristica può essere utilizzato:

- considerando un'unica caratteristica, quindi l'errore di isteresi
- oppure considerando la doppia natura della caratteristica, ma in questo caso è necessario un sensore con memoria che capisca se l'ingresso sta aumentando o diminuendo

PRECISIONE: è un modo di caratterizzare un sensore nella ripetibilità, cioè la misura deve dare sempre lo stesso risultato

Nella realtà però c'è sempre un po' di errore

ACCURATEZZA: è il massimo errore che si commette, ciò permette di sapere di quanto si è discostata la misura rispetto al valore ideale

RISOLUZIONE: è la minima variazione dell'input che determina una variazione dell'output

SPAN: definisce l'intervallo di ingresso che può essere convertito dal sensore con una certa incertezza

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.

SATURAZIONE

Purtroppo, anche per i sistemi lineari, aumentando i valori di ingresso si finisce nella NON linearità perché c'è la saturazione

I sensori in saturazione perdono sensibilità, per cui aumenta l'errore lineare

Inoltre i sensori hanno anche un limite di **insensibilità**, cioè per valori di ingresso troppo bassi non reagiscono

Per cui ci sarà non linearità sia per valori **bassi** che per valori **alti** dell'ingresso

TERMOCOPPIA

È un sensore **diretto e passivo**

Converte energia **termica** in energia **elettrica**

La conversione avviene senza alimentazione

Si tratta di un cavo intrecciato, formato da due cavi di colore diverso

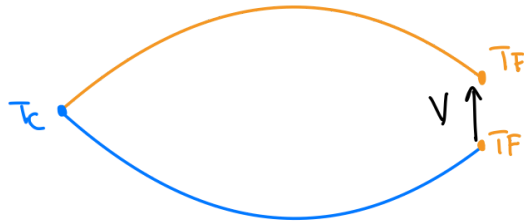
È un sensore relativo perché la sua lettura dipende dalla differenza di temperatura tra due punti anziché misurare direttamente la temperatura assoluta

I cavi sono di rame e costantana e hanno caratteristiche elettriche differenti

Si creano due **giunzioni** e si genera una corrente indotta che va in circolo se tra le due estremità c'è una differenza di temperatura (effetto Seebeck)

Vediamo come prelevare l'uscita

Supponiamo che la giunzione FREDDA sia aperta



In queste condizioni si genera una f.e.m. **PROPORZIONALE** alla differenza di temperatura

$$V = (S_B - S_A) \cdot (T_C - T_F)$$

S_B e S_A sono i COEFFICIENTI DI SEEBACK relativi ai metalli

T_C e T_F sono le temperature delle giunzioni

La temperatura T_F deve essere nota, costante e controllata

Esistono varie tipologie di termocoppia

I range di temperatura che si possono misurare con le termocoppie sono abbastanza ampi, ma i salti di tensione sono dell'ordine di mV

Inoltre la lunghezza del cavo è limitante, infatti le termocoppie non permettono misure a lungo raggio

La termocoppia che utilizzeremo è di tipo K (da -200 a 1250 °C, da -5,891 a 50,644 mV)

Per la caratterizzazione dovremo valutare: caratteristica di trasferimento, sensibilità, risoluzione

Per la caratteristica i-u, fissiamo le temperature e misuriamo con un multimetro la differenza di potenziale

Useremo una funzione di fitting per approssimare la distribuzione

Per misurare la **ripetibilità** calcoleremo media e deviazione standard

Più la deviazione standard è piccola, più il sensore sarà preciso

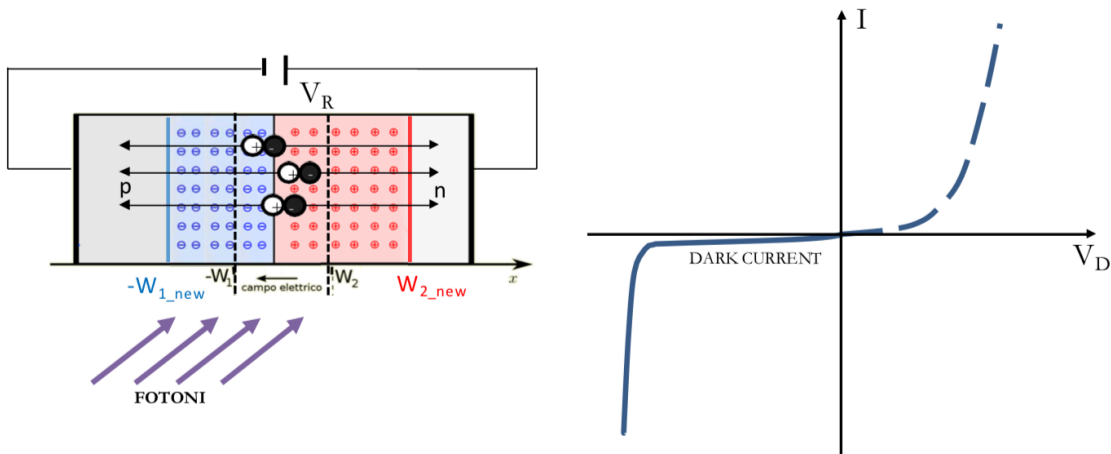
Infine controlleremo un eventuale errore di isteresi

FOTODIODO

È un sensore diretto e attivo

È in grado di convertire un segnale ottico in un segnale elettrico

La caratteristica V-i è come quella di un normale diodo



C'è un substrato di silicio con una giunzione p-n

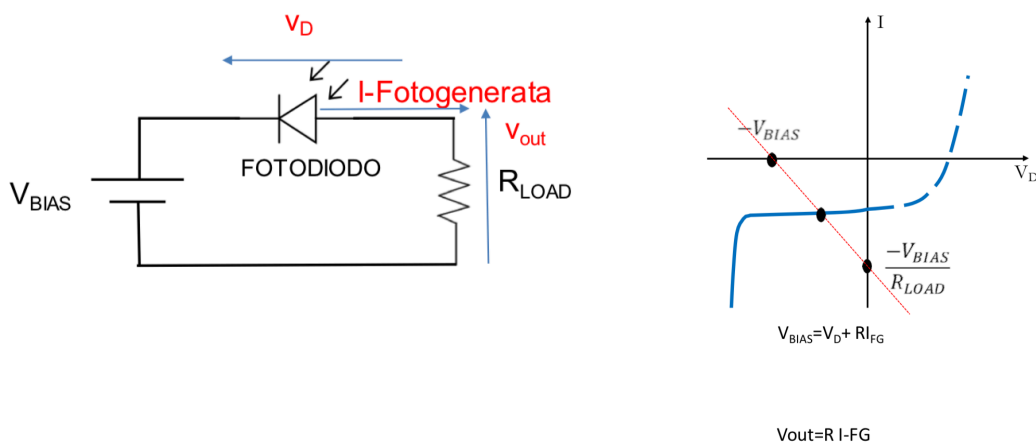
Nel momento in cui un fotone viene a contatto con la superficie della giunzione, cederà ad essa la sua energia dando vita a nuove coppie elettrone-lacuna

In pratica si generano una carica + e una -, ma queste sono ferme

Per farle muovere utilizziamo il metodo **deriva drift**, cioè applichiamo una differenza di potenziale per creare un campo elettrico

CORRENTE FOTOGENERATA \propto POTENZA OTTICA

In pratica il fotodiodo diventa un **generatore di corrente controllato** dalla **potenza ottica**



V_{BIAS} serve per far circolare le cariche ed evitare che tornino velocemente allo stato naturale

$$V_{out} = R i_{FG}$$

$$i_{FG} = R(\lambda) \cdot P_{OTTICA} \quad R = \text{RESPONSIVITA'}$$

$$\Rightarrow V_{out} = R_{LOAD} \cdot R(\lambda) \cdot P_{OTTICA}$$

La responsività dipende dalla lunghezza d'onda

Nel nostro setup, abbiamo scelto la lunghezza d'onda pari a 1550 nm perché intorno a questo valore si ha la responsività massima

V_{out} è lineare rispetto alla potenza ottica

R_{Load} possiamo dimensionarla

Cerchiamo di dimensionarla grande per avere la migliore sensibilità possibile

$$\frac{\partial V_{out}}{\partial P_{ott}} = R_{LOAD} \cdot R(\lambda)$$

Con R_{Load} grande, a piccole variazioni di **potenza ottica** corrisponde una grande variazione di V_{out}

Tuttavia, per la non amplificazione:

$$V_{out} \leq V_{Bias}$$

Quindi se si scegliesse R_{Load} troppo grande, si avrà $V_{out} = V_{Bias}$

Si andrebbe così a limitare la potenza ottica richiesta dall'applicazione

$$P_{ott MAX} R_{Load} R(\lambda) < V_{Bias}$$

Ci sarà sempre una specifica per P_{MIN} e P_{MAX}

Per far arrivare potenza ottica al fotodiodo, utilizziamo un cavo di fibra ottica

SENSORE DI UMIDITÀ RELATIVA

È un sensore diretto e attivo

Per **umidità atmosferica** si intende la quantità di vapore acqueo contenuto nell'aria che proviene dall'evaporazione dell'acqua dalla superficie terrestre per azione della radiazione solare e anche dalla traspirazione delle piante

UMIDITÀ ASSOLUTA [g/m³]: indica quanti grammi di acqua sono presenti in 1 metro cubo di aria

UMIDITÀ DI SATURAZIONE [g/m³]: indica la quantità massima di grammi di acqua che 1 metro cubo di aria può contenere ad una data temperatura

UMIDITÀ RELATIVA (RH%): indica la percentuale della quantità massima di vapore acqueo contenuta nell'aria e si calcola:

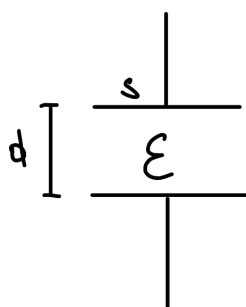
$$RH \% = \frac{UMIDITÀ ASSOLUTA}{UMIDITÀ DI SATURAZIONE} \times 100$$

Il principio di funzionamento è quello dell'**igrometro a capello**

In pratica, la variazione dimensionale del materiale igroscopico in funzione del vapore acqueo assorbito, viene trasdotta nella variazione di una resistenza elettrica di un potenziometro o di un estensimetro

In particolare, si tratta di un **igrometro capacitivo**

Il funzionamento è simile ad un condensatore in cui il dielettrico è un **materiale igroscopico** (solitamente polimerico)



$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

Condensatore: due armature ai lati
dielettrico in mezzo

All'interno quindi c'è un **polimero igroscopico**, cioè è in grado di **assorbire** acqua

L'assorbimento di acqua fa cambiare ϵ perché cambia la composizione del materiale

POLIMERO	ACQUA
----------	-------

È un materiale **composito**

Metamateriale: materiale che ha proprietà non esistenti in natura

Creare un **metamateriale** significa che partendo da materiali diversi esistenti in natura, se ne crea un altro con proprietà fisico-chimiche caratteristiche dei materiali di partenza

Il sensore che utilizziamo è un HIH

Ha 3 terminali

È un po' particolare come sensore perché è sensibile sia alla temperatura che all'umidità relativa

Quindi per misurare una grandezza, bisogna fissare l'altra

SENSORI IN FIBRA OTTICA

La fibra ottica è un cilindro di vetro, detto **silica**, di diametro 125 μm

È un sistema di guida per la luce, un conduttore ottico

La luce è confinata all'interno della silica

La fibra ottica è nata in ambito medico

Nel 1965, Kao ha scoperto che la fibra ottica poteva assumere un ruolo importante nelle comunicazioni a grande distanza

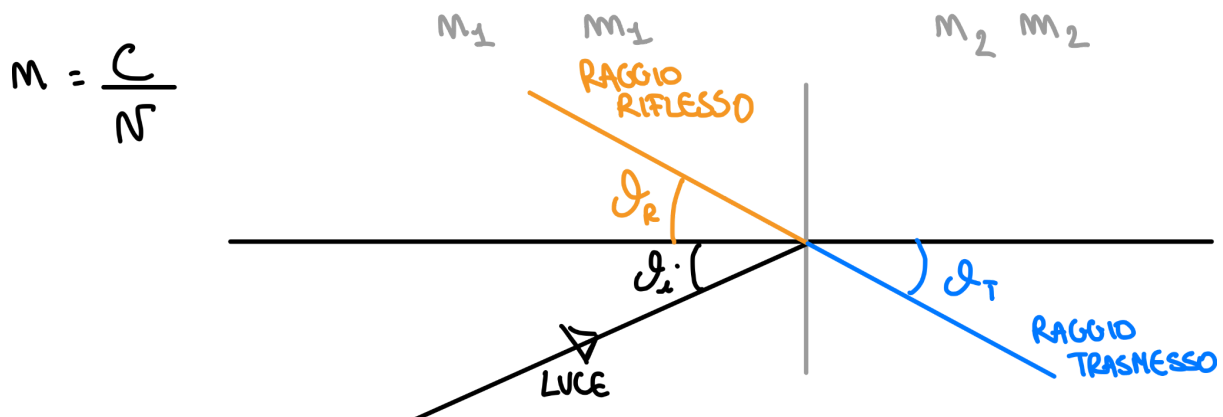
Vediamo come la fibra ottica riesce a fare da binario per la luce

Supponiamo un raggio di luce che si propaga in una direzione

Se la luce non incontra discontinuità, allora si mantiene identicamente uguale a sé stessa, cioè conserva direzione e verso

Supponiamo ora che la luce viaggi in un mezzo NON omogeneo

Dobbiamo considerare l'indice di rifrazione, il quale è il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce nel mezzo



LEGGI DI SNELL

La riflessione è sempre speculare

$$\theta_R = \theta_i$$
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_T \quad (1)$$

com $\theta_i, \theta_R \in [0, 90^\circ]$

↑
INCIDENZA

Se $n_1 > n_2$, allora il mezzo da cui parte la luce è **OTICAMENTE** più denso rispetto al mezzo destinazione

Per la (1), se $n_1 > n_2 \Rightarrow \theta_i < \theta_T$

θ_c = ANGOLO CRITICO DI INCIDENZA per cui $\theta_T = 90^\circ$, cioè la luce si propaga lungo l'interfaccia

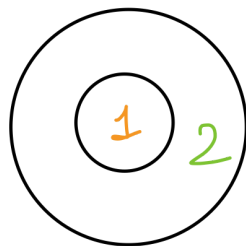
$$\Rightarrow n_1 \sin \theta_c = n_2$$

\Rightarrow Per avere RIFLESSIONE INTERNA TOTALE: $n_1 > n_2$, $\theta_i > \theta_c$

La fibra è eterogenea, infatti è composta da due materiali diversi **concentrici**

Il **core** è SiO_2

Il **cladding** è $\text{SiO}_2 + \text{Ge}$ (germanio)

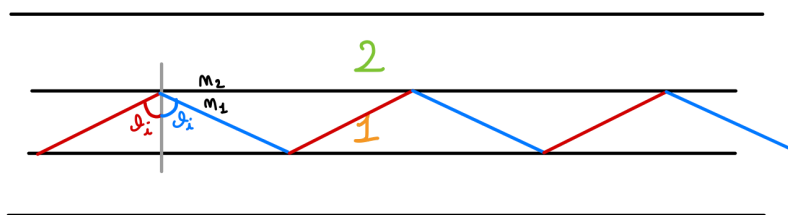


1 è detto **CORE** $\sim 8 \text{ mm}$

2 è detto **CLADDING** $\sim 125 \text{ mm}$

DIAMETRO

Una fibra è realizzata in modo che $n_1 > n_2$ e $\theta_T = 90^\circ$



NON c'è raggio riflesso

La luce è **intrappolata** nello strato **core**

Il **cladding** serve a **separare** la luce dal mondo esterno
In questo caso si parla di TIR (Total Internal Reflection)

In realtà c'è anche un terzo strato, il quale è detto **jacket**, ma non ha funzioni ottiche, infatti serve solo per dare più robustezza al tubo

I vantaggi della fibra ottica sono molteplici

È detta **multimode**, cioè riesce a trasmettere grandi potenze ottiche (quindi più informazioni)
Inoltre le perdite di potenze durante la trasmissione sono veramente basse: 1 dB per km

In passato, per bilanciare le perdite, una trasmissione in fibra era fatta in questo modo:
x km in fibra → conversione ottico/elettrico → amplificazione → conversione elettrico/ottico
→ fibra

Ora si utilizzano amplificatori ottici, per cui è possibile utilizzare esclusivamente fibra
Ciò permette di avere la parte di elaborazione dati molto lontana dalla parte di misura

È una tecnologia **passiva**, infatti si propagano **fotoni** e non elettroni

Inoltre lo stesso cavo di fibra può essere utilizzato sia come sensore sia come canale di comunicazione

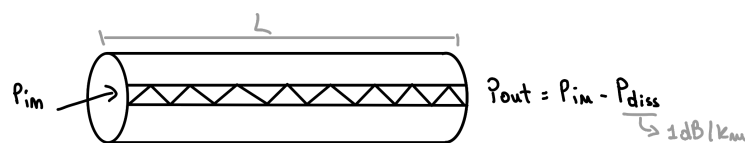
Per realizzare un **sensore** ci sono due possibilità:

- **intrinseca**: il sensore è integrato all'interno della fibra
- **estrinseca**: il sensore è all'esterno della fibra, quest'ultima è utilizzata per far arrivare la sorgente luminosa al sensore

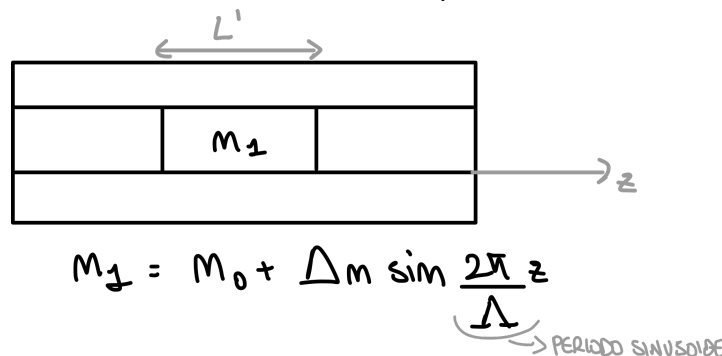
Integrando i sensori direttamente sulla fibra, è possibile realizzare più sensori su un unico cavo

RETICOLO DI BRAGG

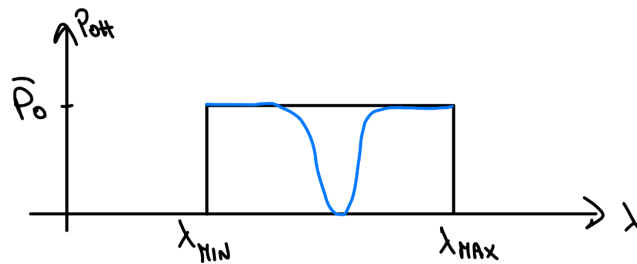
Prendiamo una fibra ottica



Ora ci focalizziamo su un certo tratto della fibra e lo perturbiamo



Diamo potenza ottica in ingresso costante \bar{P}_0



In **BLU** il segnale in **USCITA**

In uscita notiamo che tutte le **frequenze** sono “passate” tranne una fascia

L’energia “persa” si trova in **riflessione**, non scompare

La **modulazione sinusoidale** fa sì che:

- in **riflessione** si ottiene un filtro **passa banda**
- in **trasmissione** si ottiene un filtro **taglia banda**

Ma come si fa a **cambiare l’indice di rifrazione n**?

Le perturbazioni si creano **irradiando** la fibra dall’esterno con **raggi UV**

Ciò fa sì che la parte irradiata avrà un indice di rifrazione diverso rispetto a tutto il resto della fibra

Però la perturbazione deve essere sinusoidale

L’indice di rifrazione segue la sinusoide

Per cambiare il periodo di perturbazione, è necessario cambiare l’angolo di irraggiamento

Un altro modo per perturbare una fibra è utilizzare una **maschera di rifrazione**

Con questo metodo è necessario utilizzare una maschera per ogni periodo

La banda che si elimina è data dalla formula: $\lambda_B = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda$

Nel caso in cui si vogliano avere più reticoli, bisogna fare in modo che ognuno lavori in parti di spettro differenti e ciò può essere possibile solo se possiamo cambiare Λ

La **temperatura** agisce sull’**indice di riflessione** e sulla **lunghezza d’onda**

Infatti se la fibra viene riscaldata, il picco si muove

Un grande vantaggio della fibra ottica è che permette di fare un **multiplexing naturale**



In **riflessione** arrivano $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{10}$

In pratica, si identificano **univocamente** i sensori che sono presenti nella fibra

Tuttavia, bisogna assicurare che i sensori non si sovrappongono (aliasing)

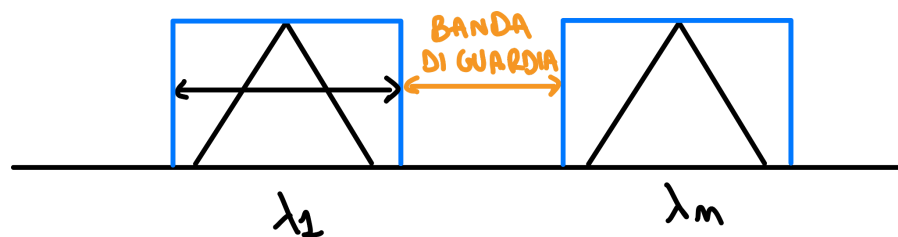
Con la fibra, è possibile misurare **direttamente** solo **temperatura** e **deformazione**

Però, utilizzando opportuni materiali che creano deformazione, si possono misurare anche altri parametri

Esempio: la fibra ottica non è sensibile all'umidità, però se utilizziamo un materiale igroscopico nei pressi della regione di Bragg, questo crea deformazione che permette di misurare l'umidità

In generale, la fibra è molto sicura perché è cablata

Quanti sensori possiamo inserire su una fibra ottica? Il numero dipende dalla **banda sorgente** e dalla **banda di guardia**



Supponiamo che si tratti di un sensore di temperatura

La sensibilità è: $\frac{\Delta\lambda}{\Delta T} \rightarrow \Delta\lambda_{MAX}$

Ogni sensore ha il proprio range operativo e non deve andare nel range di lavoro del sensore adiacente (per questo c'è la banda di guardia)

Per poter leggere tutti i sensori, la banda della sorgente deve essere almeno pari a:

$$n\Delta\lambda_{MAX} + nBG$$

Inoltre, se si realizza un sensore ad una certa frequenza, ma questa non è presente nel reticolo, allora il sensore è come se non ci fosse

Il parametro da codificare si trova nella lunghezza d'onda

Inoltre, con la fibra, NON bisogna preoccuparsi della compatibilità elettromagnetica perché la potenza ottica non modifica la lunghezza d'onda