



boiler

IL FUTURO È OTTICO

31 May 2015

Nel mondo dei sensori ci si muove da circa 10 anni sempre piú verso l'approccio ottico. Vi avevo già parlato dell'evoluzione della misura dell'ossigeno dal sistema amperometrico (elettrochimico) a quello ottico (fluorescenza). Visto che trovo l'evoluzione parecchio interessante, vi presento un paio di altre applicazioni dell'ottica alla sensorica.

[banco_ottico.jpg](#)

banco_ottico.jpg

Temperatura (locale)

Questo tipo di misurazione è simile a quello dell'ossigeno: c'è una sostanza fluorescente che viene eccitata da una fonte luminosa ed emette una fluorescenza su un'altra lunghezza d'onda. Questa fluorescenza ha un'intensità e uno sfasamento rispetto all'eccitazione che dipendono da un certo parametro, in questo caso la temperatura, che si dice *quencher* (legge di Stern-Volmer). La detezione si ottiene fondamentalmente con un lock-in amplifier e confrontando un segnale di riferimento con il segnale di misura.

La sostanza usata in questo caso è uno YAG. Di YAG si sente spesso parlare nel contesto dei laser. Si tratta di cristalli sintetici a base di ossido di ittrio e alluminio che possono venir drogati (tipicamente con neodimio, il classico laser Nd:YAG). Se invece noi droghiamo il cristallo con rubidio (Rb:YAG) otteniamo un materiale che stimolato nel verde emette nel rosso e ha le caratteristiche sopra descritte.

L'applicazione tipica consiste nel macinare il cristallo, fare una pasta con una resina epossidica e "pucciarsi" la fine di un pezzo di fibra ottica. Si ottiene così una sonda per la temperatura con i seguenti vantaggi:

- flessibile
- spessore di pochi decimi di mm
- tempi di risposta brevissimi
- ripetibilità di un centesimo di grado celsius (l'accuratezza dipende in sostanza solo dalla bontà della calibrazione)
- contrariamente alle porfirine metalliche usate per rilevare l'ossigeno, i cristalli al rubidio non invecchiano e non driftano

Ovviamente ci sono anche svantaggi. Uno è palese: l'elettronica per la gestione del sistema è ben più complessa di quella necessaria per leggere una Pt-1000. L'altro, un po' meno evidente, è che i cristalli non possono essere macinati troppo finemente. Il motivo è che rompendoli si introducono nel reticolo cristallino difetti che riducono l'efficienza quantica e quindi il segnale disponibile.

Temperatura (remota)

Qui si parla di un'applicazione della spettroscopia di Raman. La spettroscopia di Raman sfrutta l'effetto Raman (e grazie, direte voi). L'effetto Raman è l'effetto per cui un fascio luminoso che attraversa un corpo viene in minima parte riflesso subendo uno spostamento di lunghezza d'onda. La componente con lunghezza d'onda incrementata si chiama *stokes*, quella con lunghezza d'onda decrementata *anti-stokes*. Lo shift stokes (S) è praticamente indipendente dalla temperatura, mentre lo shift anti-stokes (AS) dipende dalla temperatura del corpo attraverso cui la luce sta passando. Se conosco il materiale e posso misurare la distanza tra il picco S e il picco AS e risalire alla temperatura.

L'applicazione classica è il monitoraggio di cavidotti, oleodotti, gallerie stradali o ferroviarie. In tutti i casi al gestore interessa conoscere la temperatura lungo il manufatto. Basta posare una fibra ottica a stretto contatto con lo stesso e applicare la teoria appena citata. Normalmente si lavora con fibre di quarzo nell'infrarosso per due motivi: le fibre di quarzo resistono a temperature di 1000 °C rendendo possibile la misurazione per esempio anche durante un incendio. L'infrarosso lo si usa perché è lo standard nei sistemi di telecomunicazione e così il gestore che compra un sistema di misura della temperatura si ritrova con un sistema di telecomunicazione gratuito (insomma, ha pagato parecchio...).

Considerate che l'effetto Raman ritorna una percentuale infima di luce rispetto a quello che si immette nella fibra. C'è poi il problema di determinare il punto spaziale in cui effettuare la misura. Questa questione si risolve facendo time domain reflectometry. Ricapitolando: TDR con un signal-to-noise risibile, poi ancora spettroscopia e il tutto per risolvere due picchi distanti qualche nm. Sembra fantascienza, invece si fa con le seguenti prestazioni da brivido:

- distanza tra i ripetitori: 30 km
- risoluzione spaziale: 0.5 m (!)
- risoluzione termica: 0.1 °C (!)
- sensibilità ai disturbi elettromagnetici: 'na pippa!

Sembra troppo bello per essere vero? No, è un prodotto commerciale: <http://www.apsensing.com>

Campo magnetico (misura in un punto)

Se prendiamo la tecnica descritta all'inizio per misurare la temperatura con la fluorescenza, togliamo il Rb:YAG e ci mettiamo qualcosa d'altro possiamo misurare il campo magnetico.

Cos'è questa roba? È un diamante. Se ad in un diamante introduciamo dei difetti nel reticolo cristallino sostituendo degli atomi di carbonio con altrettanti atomi di azoto, abbiamo la nostra sostanza magica. Stesse lunghezze d'onda come nel caso dello YAG al rubidio, ma il quenching avviene in presenza di un campo magnetico. Ho un conoscente che fa ricerca in questo campo al Fraunhofer Institut, il sistema funziona bene, ma non sembra esserci un'applicazione industriale...

Campo magnetico (misura 2D)

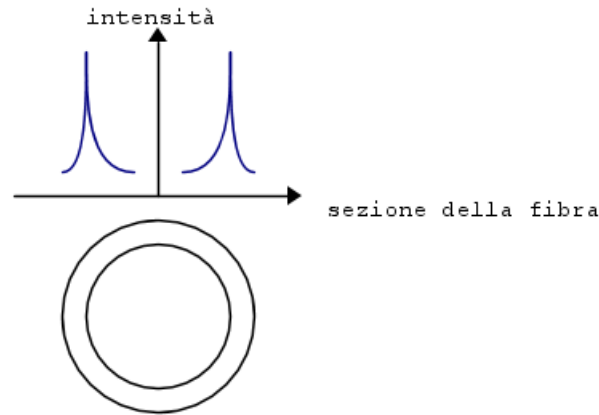
Qui l'applicazione c'è e il prodotto commerciale viene sviluppato da <http://www.matesy.de> La possibilità di visualizzare i domini di un magnete permanente permette di controllarne la qualità e l'uniformità. Cosa importante quando viene usato per esempio per accelerometri nel campo aerospaziale.

Il sistema sfrutta l'effetto Faraday. L'effetto Faraday descrive la rotazione del piano di polarizzazione della luce in un campo magnetico. Alla luce di quanto detto (*no pun intended*), l'applicazione risulta banale: una sorgente luminosa viene polarizzata, il fascio luminoso passa attraverso il campo da misurare e passa attraverso un altro polarizzatore. Dove la rotazione è stata maggiore, passerà meno luce attraverso il secondo polarizzatore. Il resto è semplicemente un sensore ottico e un po' di elaborazione immagini.

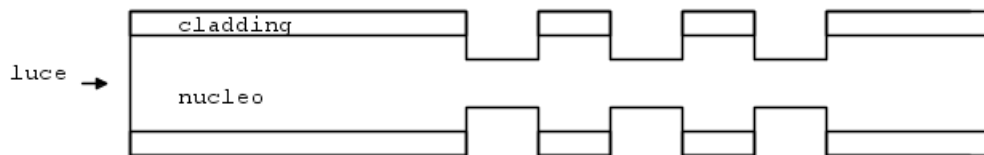
Glucosio

Il glucosio è un parametro importante nell'industria biochimica e farmaceutica perché è quello che lieviti e batteri mangiano per poi produrre quello che interessa. Misurandone la concentrazione nel reattore si può assicurare che la flora abbia sempre le condizioni migliori per produrre ciò che ci interessa. La misura non è diretta, in realtà viene misurato l'indice di rifrazione, che dipende dalla concentrazione di glucosio.

Una fibra ottica è composta dal nucleo e dal rivestimento, detto cladding. Semplificando spesso si dice che la luce viene riflessa dal cladding e si propaga nel nucleo. Non è veramente corretto. Se si sputtera un sottilissimo strato di oro sul nucleo di prima di applicare il cladding si può ottenere una propagazione in cui il profilo di intensità è quello visibile nell'immagine seguente (no, non è un simbolo satanico).



In parole povere, la maggiorparte dell'energia viene trasmessa all'interfaccia tra cladding e nucleo. Ora incidiamo la fibra come visibile qui (si fa chimicamente):



La luce percorre proprio quel tratto che è interrotto dalle incisioni. Se le incisioni hanno lunghezza $\frac{\lambda}{4}$ quello che si viene a formare è uno specchio di Bragg ([articolo su Wikipedia](http://it.wikipedia.org/wiki/Specchio_di_Bragg)), ovvero una struttura che riflette selettivamente la luce in base alla sua lunghezza d'onda.

Immergiamo la fibra nel liquido che vogliamo caratterizzare. La percentuale di glucosio influenza l'indice di rifrazione (infatti tipicamente i vignaiuoli e i mastri birrai usano un refrattometro) e l'indice di rifrazione influenza la "lunghezza ottica" del segmento inciso. La condizione citata sopra varrà quindi solo per una ben determinata λ dipendente dalla concentrazione di glucosio. Determinata questa lunghezza d'onda si tratta di fare un paio di calcoli per compensare temperatura e ammenicoli vari.

Questi signori hanno trasformato il concetto in un prodotto commerciale: <http://stratophase.com/>

Tensione (meccanica)

Non parlo di volt, parlo di kg (pardon... daN) attaccati ad una fune. Oppure ad una corda, o ad un filo... o ad una fibra ottica. Prendiamo quella di cui sopra, con le incisioni, la lasciamo in aria e la stiriamo. L'allungamento ha lo stesso effetto di una variazione dell'indice di rifrazione e può quindi essere misurato nello stesso modo. Anche qui ci sono prodotti commerciali, ma non mi ricordo il nome di chi li fa. Quando lo trovo, completo l'informazione. Edit: HBM Fibersensing.

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Boiler:il-futuro--ottico>"