

# Un nuovo tipo di sensore ottico basato sull'emissione di un random laser

**Candidato:** Niccolò Azzali

**Relatore:** Stefano Cavalieri [stefano.cavalieri@unifi.it](mailto:stefano.cavalieri@unifi.it)

La tesi ha l'obiettivo di studiare la realizzazione sperimentale e la caratterizzazione di un nuovo tipo di sensore ottico attivo, il cui funzionamento si basa sulla fisica del random laser. A differenza di quello che accade in un comune laser, in un random laser l'elemento di feedback non è costituito da una cavità ottica ma dalle proprietà di diffusione del mezzo. Tale tipo di sorgente ottica è costituita fisicamente da un mezzo disordinato in cui è stata iniettata una componente attiva, eccitata da un sistema di pompaggio che produce un'inversione di popolazione. L'amplificazione della radiazione ha luogo durante la propagazione dei fotoni all'interno di tale mezzo. L'emissione del random laser condivide alcune caratteristiche con quelle del laser convenzionale, come il restringimento dello spettro di emissione rispetto al caso dell'emissione spontanea, ma possiede anche alcune differenze che riguardano le caratteristiche spettrali e la direzionalità della radiazione uscente.

Poiché lo spettro di emissione è fortemente legato alle caratteristiche di scattering, in passato il random laser è stato proposto per la realizzazione di sensori ottici, in particolare per la diagnostica di mezzi disordinati come, ad esempio, i materiali biologici. Negli studi fatti fino adesso il mezzo attivo è stato direttamente iniettato nel campione, ponendo una grossa limitazione alle possibili applicazioni future. In questo modo si esclude infatti la possibilità di effettuare misure in-vivo ed inoltre tale procedura provoca inevitabilmente l'alterazione del campione stesso. Nel sensore che abbiamo progettato e costruito tali problemi vengono risolti grazie ad una nuova configurazione la cui idea fondamentale è stata quella di separare il mezzo attivo dal mezzo diffusivo. In questo modo è stato costruito un sensore attivo che presenta quindi un'amplificazione del segnale, basato sulla fisica del random laser e capace di effettuare misure in-vivo su campioni biologici.

Nel primo capitolo della tesi viene studiata la teoria dello scattering in mezzi torbidi, nel secondo capitolo viene poi descritto il funzionamento del random laser con le sue principali caratteristiche e nel terzo capitolo sono analizzate alcune tecniche passive e sono presentati alcuni esempi in cui è stato sfruttato il random laser come sensore attivo in tessuti biologici. Nel quarto capitolo viene introdotto il nuovo sensore ottico studiato in questa tesi, sono esposti i motivi che hanno portato alla sua costruzione e descritti in dettaglio gli elementi di cui è composto, fornendo inoltre una descrizione dei mezzi diffusivi usati per lo studio del sensore. Nello stesso capitolo viene poi descritto l'apparato sperimentale utilizzato nelle misure e vengono esposti alcuni conti numerici, basati su programmi utilizzati nello studio della diffusione, che si sono rivelati utili per la produzione dei campioni usati nelle misure. Nel quinto capitolo vengono esposti i risultati sperimentali riguardanti le proprietà del sensore attivo. L'obiettivo principale di queste misure è quello di caratterizzare la risposta del sensore in funzione del mezzo diffusivo da analizzare. In una serie di misure vengono studiati i cambiamenti riguardanti lo spettro di emissione del sensore in funzione del mezzo esterno. Inoltre ricaviamo informazioni sul volume sondato dal sensore (località) e sulla sensibilità di quest'ultimo alle dimensioni delle particelle all'interno del mezzo diffusivo. Per evidenziare i vantaggi e le differenze di tale tipo di sensore tali risultati sono stati confrontati con quelli trovati con un sensore completamente passivo.

Dalle analisi dei risultati delle misure è stato possibile concludere che le caratteristiche principali di un random laser, ossia il guadagno e le proprietà spettrali, possono essere

utilmente impiegate per realizzare sensori ottici con un'ottima sensibilità anche a piccole variazioni nella concentrazione del mezzo diffusivo e, in prospettiva, capaci di discriminare separatamente densità e dimensioni dei centri di diffusione.