



Coherence of Raman light arises from disorder*

Barbara Fazio^{1†} , Alessia Irrera^{1‡} 

¹*Istituto per i Processi Chimico-Fisici (IPCF), CNR,
viale F. Stagno d'Alcontres 37, Faro Superiore, Messina, Italy*

Summary

Light propagation in random materials is a topic of great interest for the scientific community, not only for the possible relevant applications in the fields of photonics and renewable energies but even more since it allows to unveil new fascinating phenomena related to wave physics. Among these physical events, the most robust and always surviving any ensemble average is the coherent backscattering of light (CBS). It is a very subtle interference effect in disordered scattering media (such as semiconductor powders or micro-particle suspensions like milk or fog), in which wave coherence is preserved even after a very large number of random scattering events, eventually manifesting as a maximum of interference in the exact backscattering direction. CBS is related to the well-defined wave character and to the preservation of the optical information, for this reason it has been so far experimentally observed and theoretically studied only for *elastic* scattering, while the occurrence of *inelastic* scattering is known to reduce the degree of coherence in the diffusion process, affecting the visibility of the effect. Fazio *et al.* (2017) have demonstrated that this experimental evidence surprisingly survives also for the inelastic light scattering, such as the spontaneous Raman process, as long as the optical information of the propagating wave is retained. In this kind of inelastic scattering events, light loses a small part of its energy by slightly changing wavelength. Its phase coherence, however, is preserved for a very short time, thus making interference between Raman scattered waves still possible. The observed maximum of interference in the exact backscattering direction is therefore a signature of the coherent nature of individual Raman scattering processes. To date, indications on the coherence properties

*Abstract of the lecture delivered at Palazzo Grimaldi in Modica on November 29, 2019, on the occasion of the ceremony for the award of the Grimaldi Prize 2019.

[†]E-mail: fazio@ipcf.cnr.it

[‡]E-mail: irrera@ipcf.cnr.it

of Raman scattering have been reported only by looking at the nanoscopic scale, through complex near-field experiments making use of very sharp tips or through ultra-fast time resolved techniques. This time, however, we did not rely on complex experiments or advanced techniques. Conversely, the combination of an accurate experimental procedure and the unique structural properties of a silicon-based material were the only simple ingredients for the observation of a new unexpected physical phenomenon. In particular, a dense forest of ultrathin silicon wires arranged in a disordered fashion, where light waves bounce back and forth countless times before coming out, was the medium that allowed us to reveal this new effect, which opens the way for new and important discoveries.

Keywords: *Raman scattering, coherence, disorder.*

Riassunto

La coerenza della luce Raman emerge dal disordine

La propagazione luminosa nei materiali randomici è un tema di grande interesse per la comunità scientifica, non solo per le rilevanti applicazioni possibili nei campi della fotonica e delle energie rinnovabili, ma anche perché esso consente di svelare nuovi affascinanti fenomeni correlati con la fisica ondulatoria. Tra questi, quello che sopravvive sempre ad ogni media d'ensemble è la retrodiffusione luminosa coerente (*coherent back-scattering of light*, CBS). Essa consiste in un sottile effetto di interferenza in mezzi diffusivi disordinati (quali polveri di semiconduttori o sospensioni di micro particelle, come il latte o la nebbia), in cui la coerenza delle onde si mantiene anche dopo un gran numero di eventi casuali di diffusione, e che si manifesta in definitiva con un massimo di interferenza esattamente lungo la direzione di retrodiffusione. La CBS è correlata al carattere ondulatorio ben definito ed al mantenimento dell'informazione ottica. Per tale ragione, essa è stata finora osservata sperimentalmente e studiata teoricamente solo nel caso di diffusione *elastica*, mentre è noto che l'evenienza di diffusione *inelastica* riduce il grado di coerenza nel processo di diffusione, riducendo in tal modo l'osservabilità dell'effetto. [Fazio et al. \(2017\)](#) hanno dimostrato che tale evidenza sperimentale sorprendentemente sopravvive anche alla diffusione inelastica della luce, come nel processo Raman spontaneo, purché l'informazione ottica dell'onda propagante sia mantenuta. In tale tipo di eventi diffusivi inelastici, la luce perde una parte ridotta della propria energia modificando leggermente la propria lunghezza d'onda. La coerenza di fase, tuttavia, si mantiene su tempi relativamente brevi, rendendo così ancora possibile l'interferenza fra onde Raman diffuse. L'osservazione di un massimo di interferenza esattamente nella direzione di retrodiffusione è pertanto una precisa indicazione della natura coerente dei processi di diffusione Raman individuali. Ad oggi, indicazioni delle proprietà di coerenza della diffusione Raman sono state riportate soltanto su scala nanoscopica, attraverso complessi esperimenti di campo vicino che fanno uso di punte molto affilate o attraverso tecniche di risoluzione temporale ultra veloci. Stavolta, tuttavia, non abbiamo soltanto fatto ricorso a esperimenti complessi o a tecniche avanzate. Al contrario, l'insieme di una procedura sperimentale accurata e le proprietà strutturali uniche di un materiale a

base di silicio sono stati i soli, semplici requisiti per l'osservazione di un nuovo, inatteso fenomeno fisico. Nel dettaglio, una densa foresta di fili ultrasottili di silicio disposti in maniera disordinata, su cui le onde luminose rimbalzano un numero indefinito di volte prima di uscirne, è stato il mezzo che ci ha consentito di osservare tale nuovo effetto, che apre la via per nuove e importanti scoperte.

Parole chiave: *diffusione Raman, coerenza, disordine.*

References

Fazio, B., Irrera, A., Pirotta, S., D'Andrea, C., Del Sorbo, S., Lo Faro, M. J., Gucciardi, P. G., Iatì, M. A., Saija, R., Patrini, M., Musumeci, P., Vasi, C. S., Wiersma, D. S., Galli, M., and Priolo, F. (2017). *Coherent backscattering of Raman light*. Nature Photonics **11**(3), 170. doi:[10.1038/nphoton.2016.278](https://doi.org/10.1038/nphoton.2016.278).