

Aspetti pratici dell'amplificatore Raman

Sommario

[Introduzione](#)

[Premesse](#)

[Tipi comuni di amplificatori Raman](#)

[Principio](#)

[Teoria di Raman Gain](#)

[Sorgenti di rumore](#)

[Informazioni correlate](#)

Introduzione

Questo documento descrive gli aspetti pratici dell'implementazione dell'amplificatore Raman nella rete ottica. Rende Raman più facile da capire, elenchi giùvantaggi, requisiti e applicazioni.

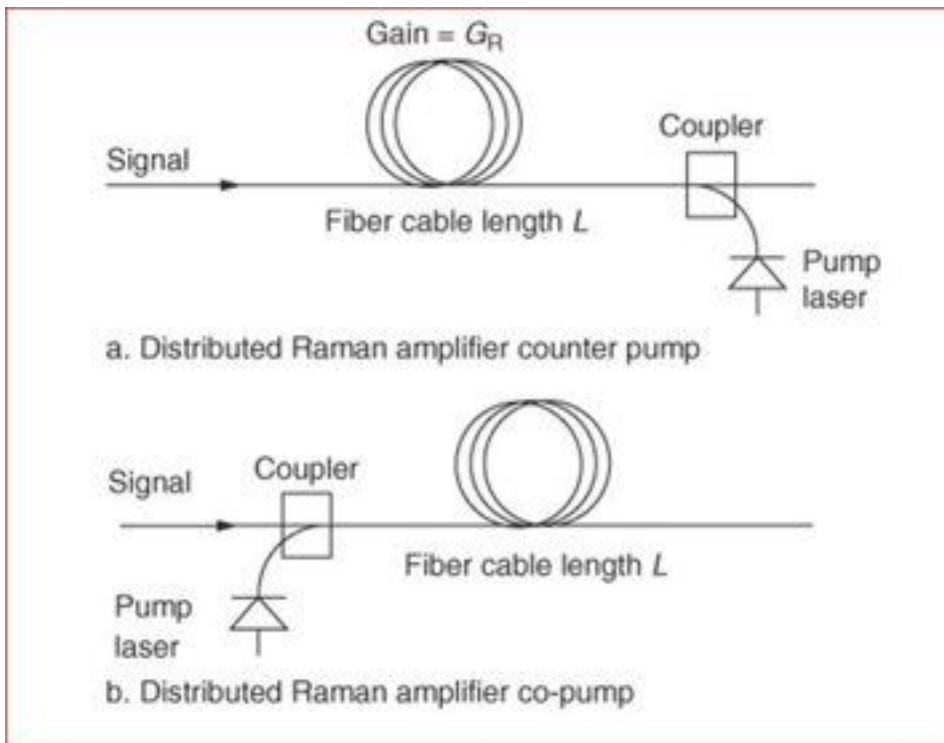
Contributo di Sanjay Yadav, Cisco TAC Engineer.

Premesse

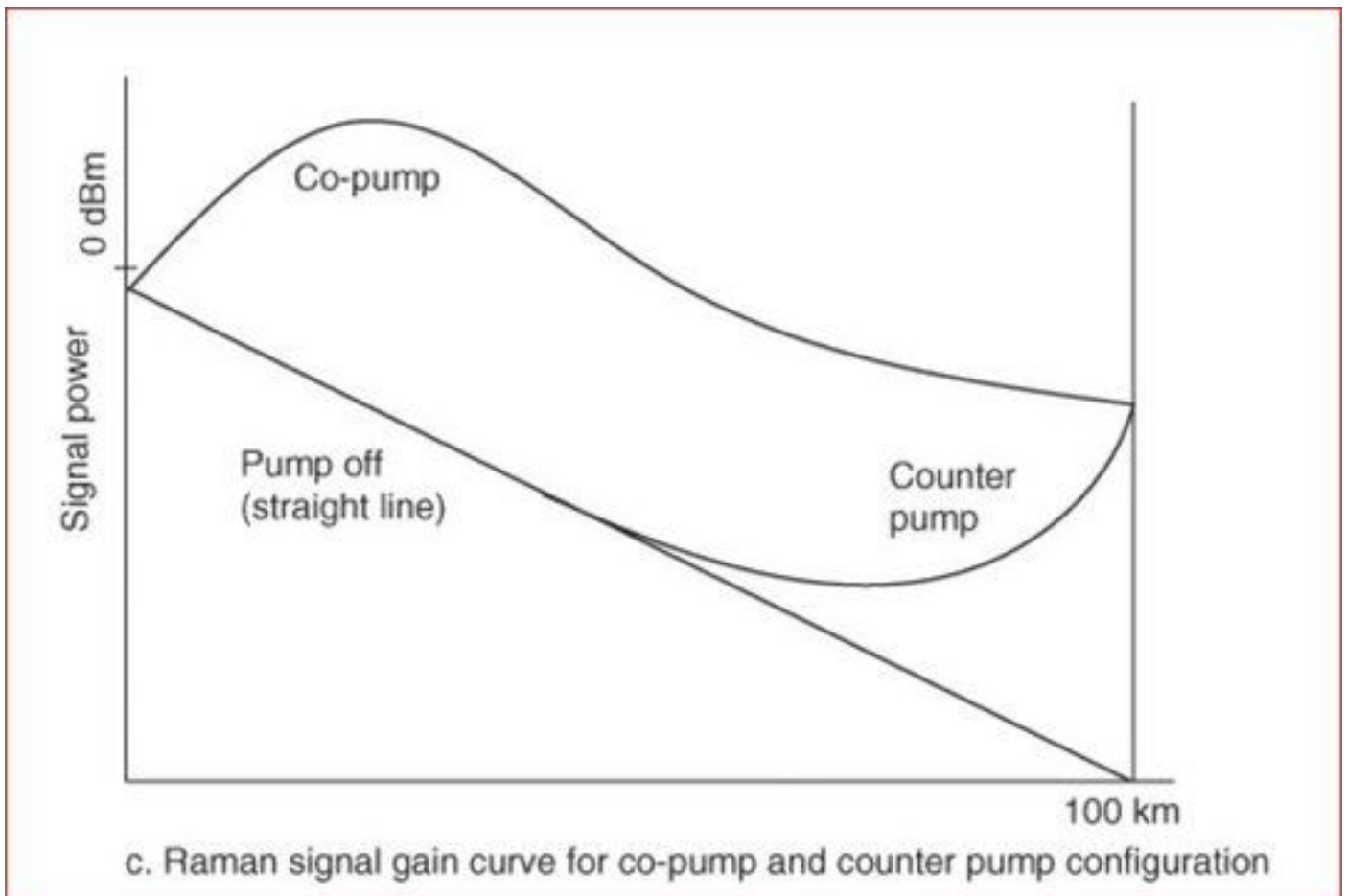
1. L'amplificatore Raman è in genere molto più costoso e ha un guadagno minore rispetto a un amplificatore EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Pertanto viene utilizzato solo per applicazioni speciali.
2. Il vantaggio principale di questo amplificatore rispetto all'EDFA è che genera molto meno rumore e quindi non degrada il rapporto ottico/rumore del segnale (OSNR) di span quanto l'EDFA.
3. La sua applicazione tipica è in EDFA span dove è richiesto un guadagno aggiuntivo ma il limite OSNR è stato raggiunto.
4. L'aggiunta di un amplificatore Raman potrebbe non influenzare significativamente l'OSNR, ma fornire un guadagno del segnale fino a 20dB.
5. Un altro importante attributo è la possibilità di amplificare qualsiasi banda di fibra, non solo la banda C come nel caso dell'EDFA. Questo permette agli amplificatori Raman di aumentare i segnali nelle bande O, E e S (per l'applicazione di amplificazione Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)).
6. L'amplificatore lavora sul principio della diffusione del Raman stimolato (SRS), che è un effetto non lineare.
7. È costituito da una pompa laser ad alta potenza e da un accoppiatore di fibre (circolatore ottico).
8. Il mezzo di amplificazione è la fibra di calibrazione in un amplificatore Raman di tipo distribuito (DRA).
9. Il laser DFB (Distributed Feedback) è una banda spettrale stretta utilizzata come meccanismo di sicurezza per la scheda Raman. Il DFB invia impulsi per controllare qualsiasi riflessione che esiste nella lunghezza della fibra. Se non si trova alcun riflesso dorsale (HBR), Raman inizia a trasmettere.

10. Generalmente l'HBR viene controllato nei primi chilometri di fibre fino ai primi 20 km. Se viene rilevato l'HBR, Raman non funzionerà. Dopo aver individuato l'area problematica tramite OTDR, è necessaria un'attività in fibra.

Tipi comuni di amplificatori Raman



- L'amplificatore Raman di tipo lumped o discreto contiene internamente una bobina sufficientemente lunga di fibra dove si verifica l'amplificazione del segnale.
- Il laser della pompa DRA è collegato alla calibrazione della fibra in una pompa da banco (pompa di retromarcia) o in una pompa a co (pompa di avanzamento) o in una configurazione.
- La configurazione della contropompa è in genere preferibile, in quanto non genera potenze di segnale eccessivamente elevate all'inizio della calibrazione della fibra, che possono causare distorsioni non lineari, come mostrato nell'immagine.



Il vantaggio delle configurazioni a co-pompa è che producono meno rumore.

Principio

Quando i fotoni laser della pompa si propagano nella fibra, si scontrano e vengono assorbiti da molecole di fibra o atomi. Questo stimola le molecole o gli atomi a più alti livelli di energia. I livelli di energia più elevati non sono stati stabili, quindi decadono rapidamente verso livelli di energia intermedi inferiori che rilasciano energia come fotoni in qualsiasi direzione a frequenze inferiori. Questo è noto come scattering spontaneo Raman o scattering Stokes e contribuisce al rumore nella fibra.

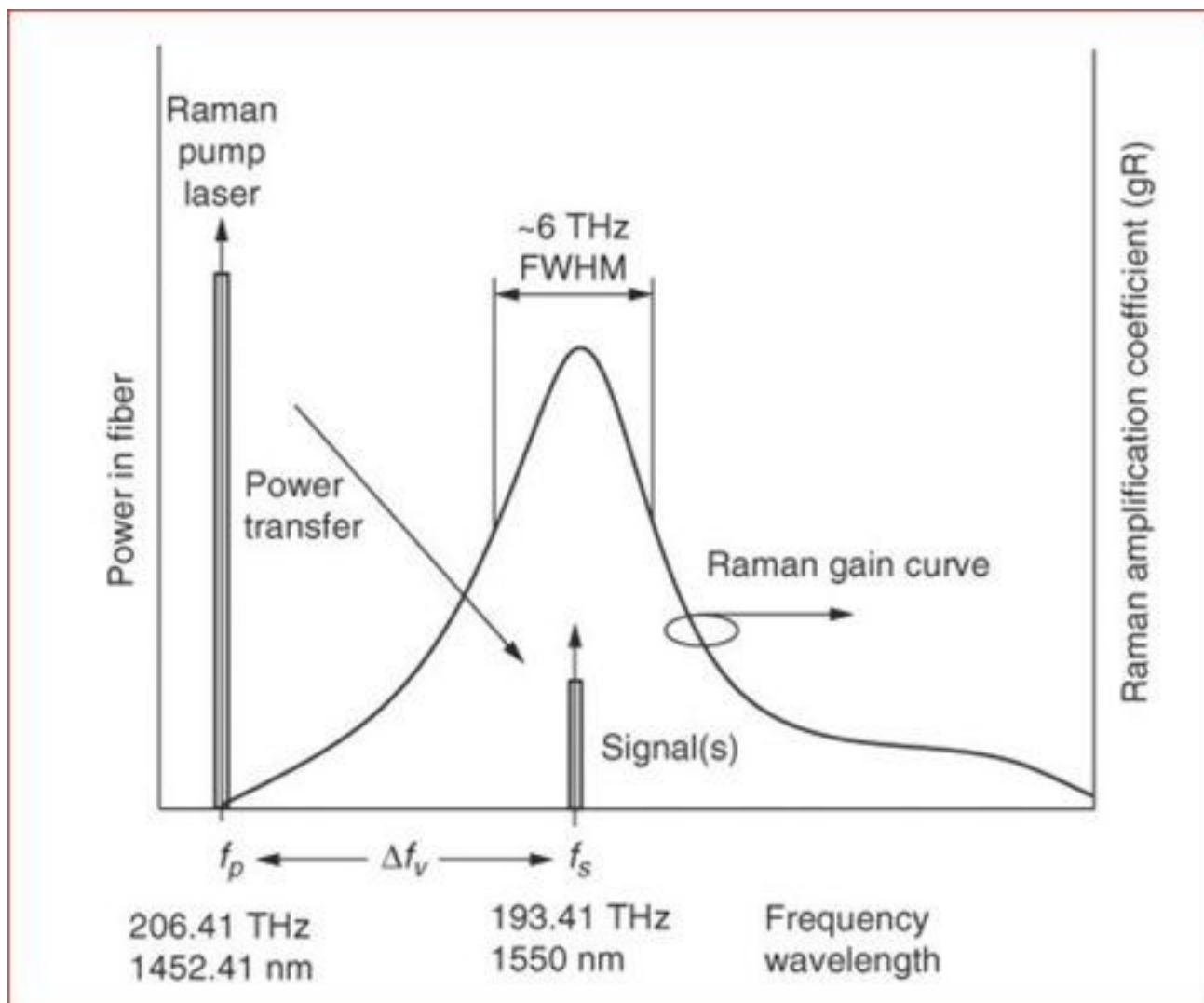
Poiché le molecole decadono ad un livello di vibrazione di energia intermedio, la variazione di energia è inferiore all'energia inizialmente ricevuta al momento dell'eccitazione molecolare. Questo cambiamento di energia dal livello eccitato al livello intermedio determina la frequenza dei fotoni da $\Delta f = E / h$. Questo viene chiamato spostamento di frequenza di Stokes e determina il guadagno Raman rispetto alla forma e alla posizione della curva di frequenza. L'energia che rimane dal livello intermedio al livello del suolo viene dissipata come vibrazioni molecolari (fononi) nella fibra. Poiché esiste un'ampia gamma di livelli di energia più elevati, la curva di guadagno ha un'ampia larghezza spettrale di circa 30 THz.

Al momento della diffusione stimolata di Raman, i fotoni del segnale copropagano lo spettro delle curve di guadagno della frequenza e acquisiscono energia dall'onda di Stokes, che determina l'amplificazione del segnale.

Teoria di Raman Gain

La larghezza FWHM della curva di guadagno di Raman è di circa 6THz (48 nm) con un picco a

circa 13.2THz sotto la frequenza della pompa. Questo è lo spettro utile di amplificazione del segnale. Pertanto, al fine di amplificare un segnale nella gamma 1550 nm, la frequenza del laser della pompa deve essere 13.2THz inferiore alla frequenza del segnale a circa 1452 nm.



I laser a pompa multipli con curve di guadagno side-by-side sono usati per ampliare la curva di guadagno totale di Raman.

$$f_p = f_s + \Delta f_v$$

dove f_p = frequenza della pompa, THz f_s = frequenza del segnale, THz Δf_v = spostamento di frequenza Stokes Raman, THz.

Il guadagno Raman è il guadagno netto del segnale distribuito sulla lunghezza effettiva della fibra. È una funzione della potenza laser della pompa, lunghezza effettiva della fibra e area della fibra.

Per le fibre con una piccola area effettiva, come nella fibra di compensazione della dispersione, il guadagno Raman è più alto. Il guadagno dipende anche dalla separazione del segnale dalla lunghezza d'onda della pompa laser, è specificato anche il guadagno del segnale Raman e il campo viene misurato come guadagno on/off. Questo è definito come il rapporto tra la potenza del

segnale in uscita e il laser della pompa acceso e spento. Nella maggior parte dei casi, il rumore dell'asse Raman ha scarso effetto sul valore del segnale misurato con il laser della pompa acceso. Tuttavia, se vi è un notevole rumore, che può essere percepito quando la larghezza spettrale di misurazione è grande, allora la potenza di rumore misurata con il segnale spento viene sottratta dalla potenza del segnale della pompa in modo da ottenere un preciso valore di guadagno on/off. Il guadagno on/off Raman è spesso chiamato guadagno Raman.

$$G_{R.on/off} = 10 \log \left(\frac{P_s(\text{pump.on,signal.on}) - P_{\text{noise}}(\text{pump.on,signal.off})}{P_s(\text{pump.off,signal.on})} \right)$$

Sorgenti di rumore

Il rumore creato in un'estensione DRA è costituito da:

- Emissioni spontanee amplificate (ASE)
- Double Rayleigh Scattering (DRS)
- Disturbo del laser della pompa

Il rumore ASE è dovuto alla generazione di fotoni attraverso la diffusione spontanea di Raman.

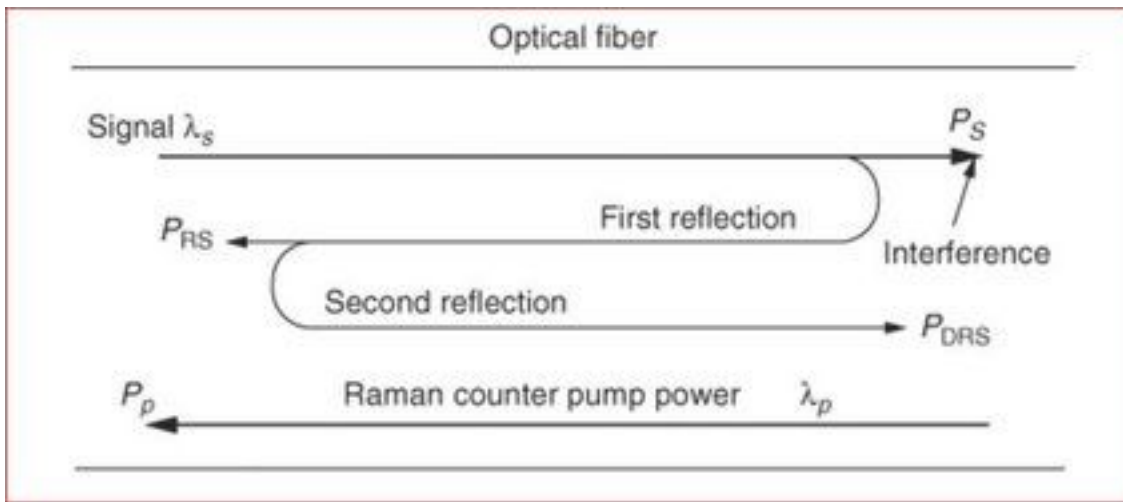
Il rumore DRS si verifica quando la potenza del segnale riflessa due volte a causa della dispersione Rayleigh viene amplificata e interferisce con il segnale originale come rumore di crosstalk.

I riflessi più forti derivano da connettori e giunti errati.

In genere il rumore DRS è inferiore al rumore ASE, ma per più intervalli Raman può sommarsi. Per ridurre questa interferenza, è possibile utilizzare connettori Ultra Polish (UPC) o Angle Polish (APC). È possibile installare isolatori ottici dopo i diodi laser per ridurre i riflessi nel laser. Inoltre, le tracce OTDR span possono aiutare a individuare gli eventi ad alta riflessione per la riparazione.

La configurazione della pompa da contatore DRA garantisce migliori prestazioni OSNR per un aumento del segnale di 15 dB e oltre. Il rumore laser della pompa è meno preoccupante perché di solito è abbastanza basso con RIN migliore di 160 dB/Hz.

Gli effetti Kerr non lineari possono inoltre contribuire al rumore dovuto all'elevata potenza della pompa laser. Per le fibre con basso rumore DRS, il valore del rumore Raman dovuto a ASE è molto migliore del valore del rumore EDFA. In genere, il valore relativo al rumore Raman è compreso tra -2 e 0 dB, ovvero circa 6 dB superiore al valore relativo al rumore EDFA.



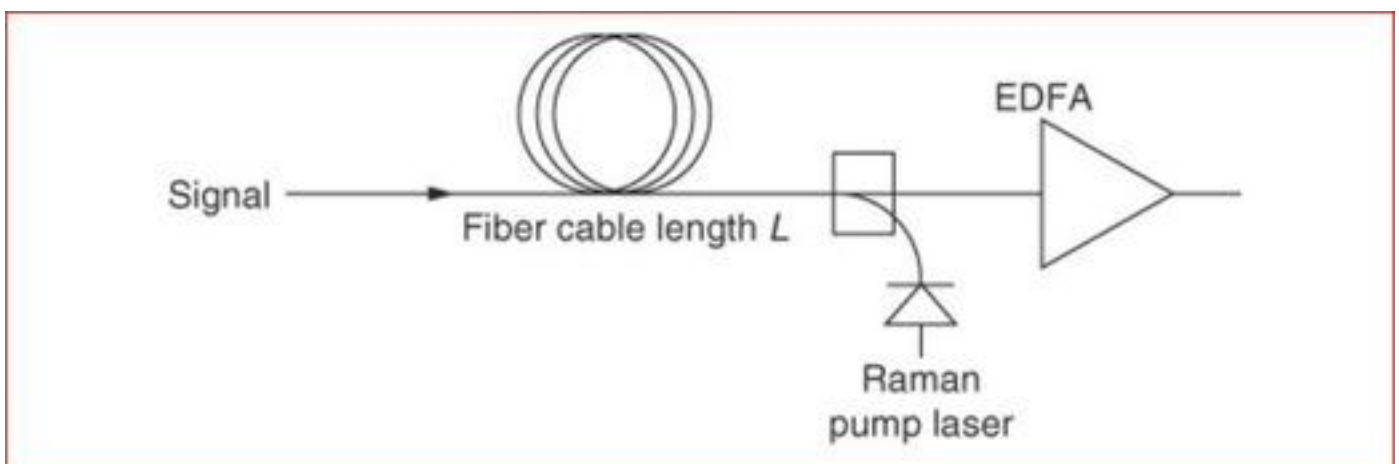
Il fattore di disturbo dell'amplificatore Raman è definito come l'OSNR all'ingresso dell'amplificatore nell'OSNR all'uscita dell'amplificatore.

$$F_R = \frac{\text{OSNR}_{\text{in}}}{\text{OSNR}_{\text{out}}}$$

$$\text{NF}_R = 10 \log(F_R)$$

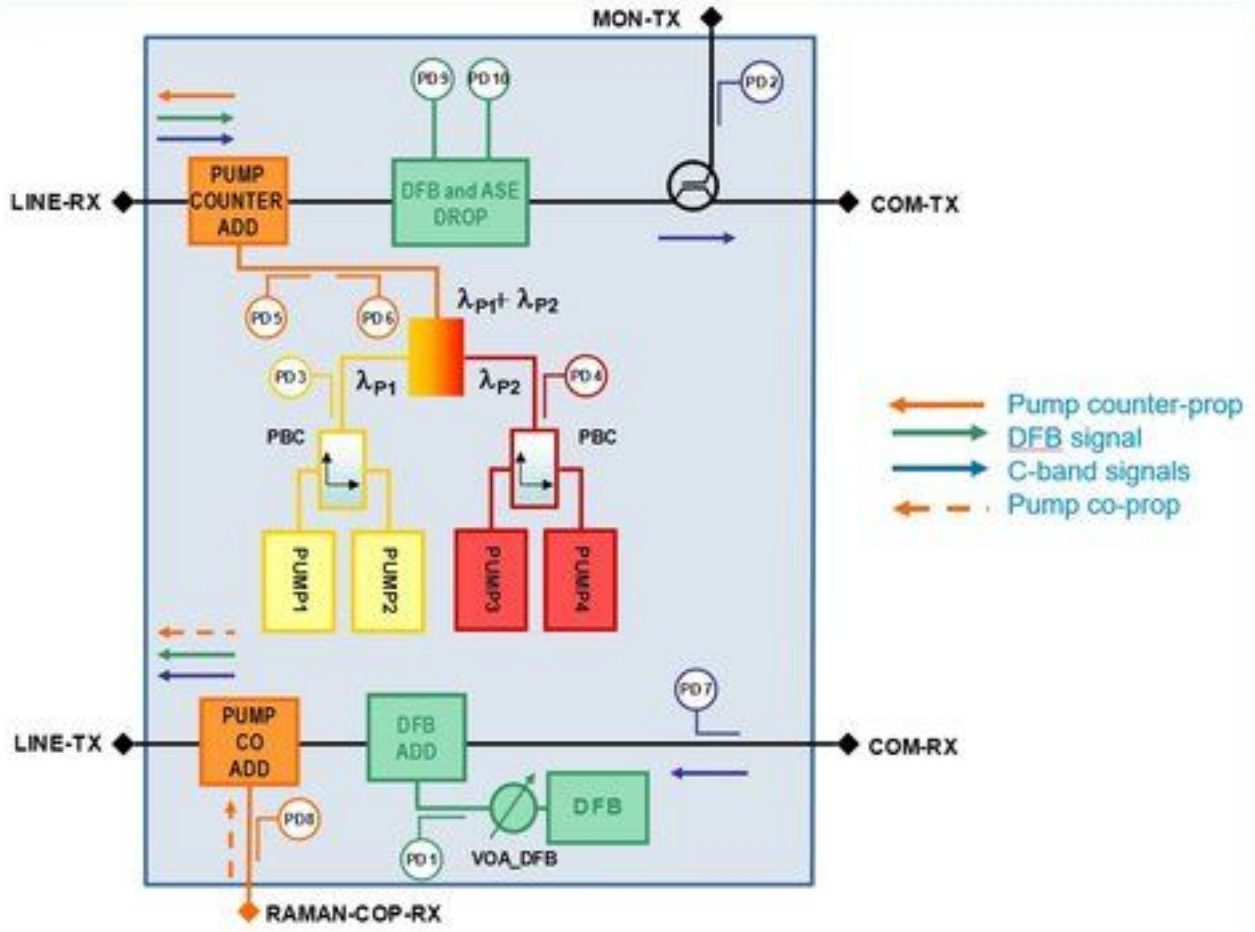
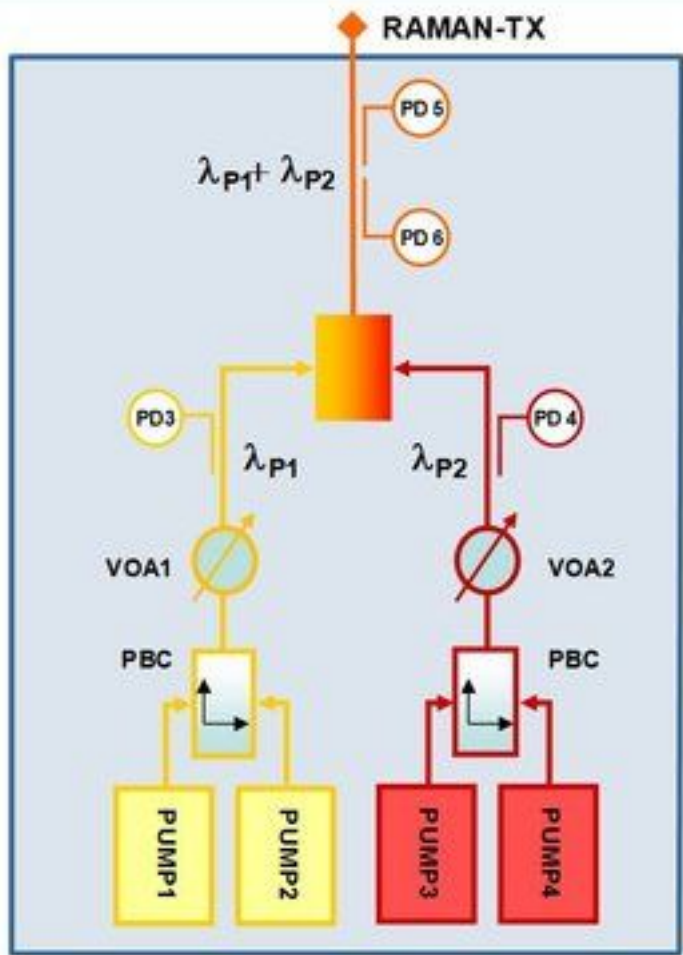
Il valore di rumore è la versione dB del fattore di rumore.

Il rumore DRA e il guadagno del segnale sono distribuiti sulla lunghezza effettiva della fibra span.

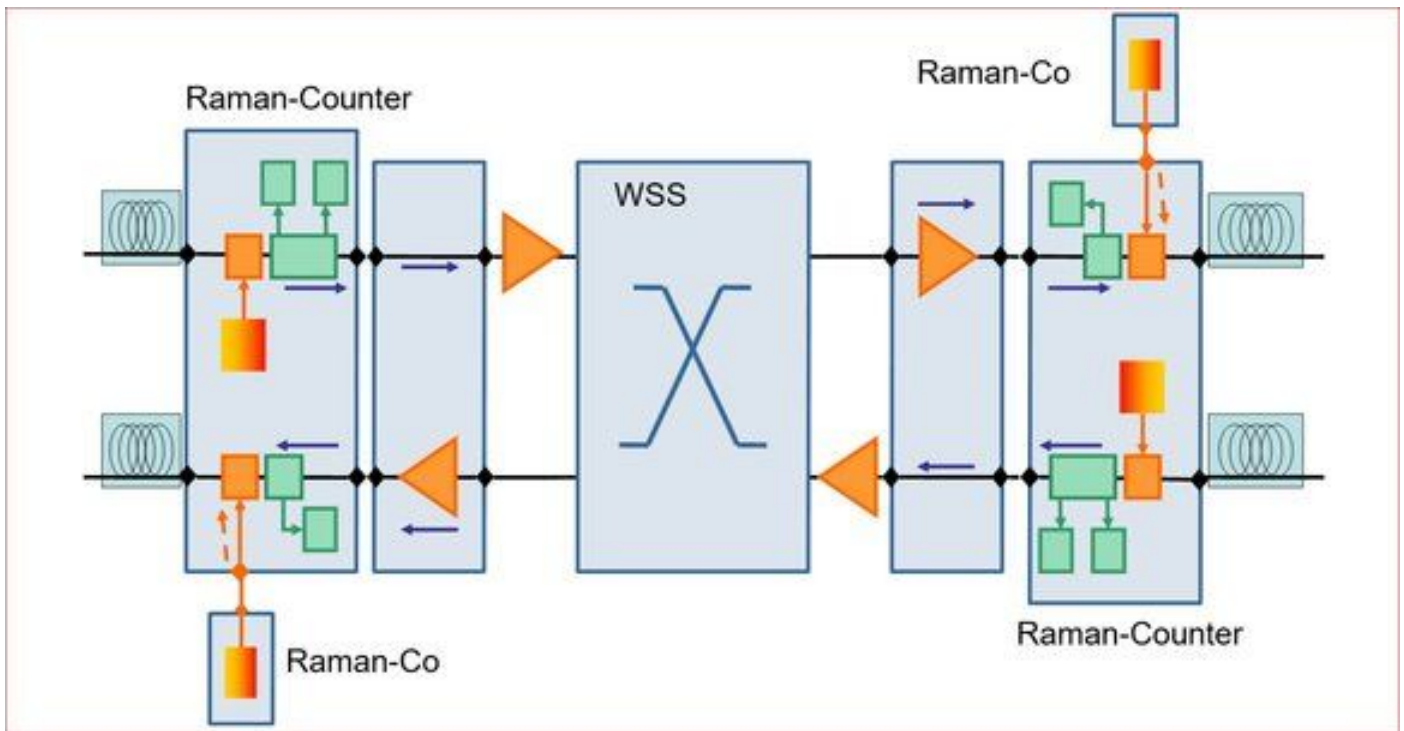


Gli amplificatori Raman distribuiti con contropompa sono spesso combinati con pre-amplificatori EDFA per estendere le distanze di estensione. Questa configurazione ibrida può fornire un miglioramento di 6 dB nell'OSNR, che può estendere significativamente le lunghezze di span o aumentare il budget di span loss. Counter pump DRA può anche aiutare a ridurre gli effetti non lineari e permette la riduzione della potenza di lancio del canale.

[Diagramma a blocchi funzionali per la co-propagazione e il contatore della propagazione dell'amplificatore Raman](#)



Architettura di installazione sul campo degli amplificatori EDFA e RAMAN:



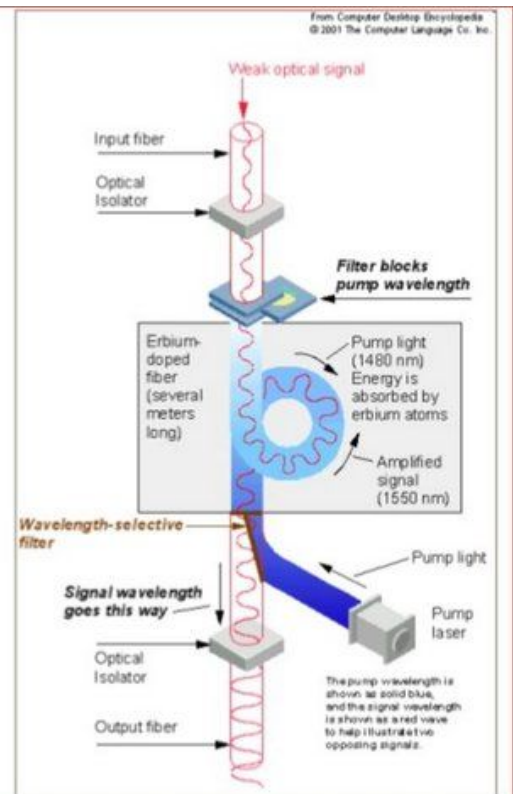
Interessante sapere:

Simplified Explanation on Raman Amplification:

Based on stimulated Raman scattering (SRS) effect, the weak light signal gets amplified while passing through a Raman gain medium (**the fiber**) in presence of a **strong pump laser**. It's the power transfer from lower to higher wavelengths.

EDFA vs. Raman Amplifier:

A Raman optical amplifier is not an amplifier "in a module"; instead, the optical amplification relies on the transmission "**fiber**" itself. In other words, whoever is deploying a Raman amplifier means he/she is building the amplifier on-site basically with a **high-power laser pump + existing fiber (any type of fiber)**!



Informazioni correlate

- Pianificazione delle reti in fibra ottica di Bob Chomycz
- https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data_sheet_c78-658538.html
- [Documentazione e supporto tecnico – Cisco Systems](#)