

AMPLIFICATORI OTTICI

L'utilizzo su larga scala di nuovi componenti quali gli amplificatori ottici ha permesso, negli ultimi anni, di realizzare sistemi di telecomunicazione a fibra ottica con grande capacità di trasmissione su lunghe distanze.

I collegamenti aventi lunghezza di varie centinaia di chilometri, possono necessitare di ripetitori intermedi posti a varie distanze l'uno dall'altro. A tale scopo possono essere usati ripetitori di tipo tradizionale, nei quali, cioè, il segnale viene amplificato a livello elettrico. In tal caso il segnale ottico trasportato dalla fibra deve subire una doppia conversione: una prima conversione da segnale ottico a segnale elettrico, successivamente viene operata l'amplificazione del segnale elettrico, infine si ha una seconda conversione da segnale elettrico a segnale ottico. In questa procedura possono essere introdotti errori nel segnale e, da parte della circuiteria elettronica, limitazioni alla capacità trasmissiva massima del sistema.

Gli amplificatori ottici, a differenza di quelli tradizionali, sono in grado di amplificare direttamente il segnale ottico, evitando quindi ogni conversione.

Benchè esistano anche altri tipi di amplificatori ottici (es. amplificatori a semiconduttore SOA - Semiconductor Optical Amplifiers), attualmente vengono in pratica impiegati solo gli amplificatori che utilizzano una fibra ottica in silice drogata con terre rare (OFA - Optical Fiber Amplifiers) e, in particolare, quelli che utilizzano una fibra drogata con erbio (EDFA - Erbium Doped Fiber Amplifier).

Le terre rare sono costituite da quella serie di 15 elementi che vanno dal Lantanio (numero atomico 57) al Lutezio (numero atomico 71), comprendendo l'erbio, l'itterbio, il praseodimio e il neodimio (Fig. 1a).

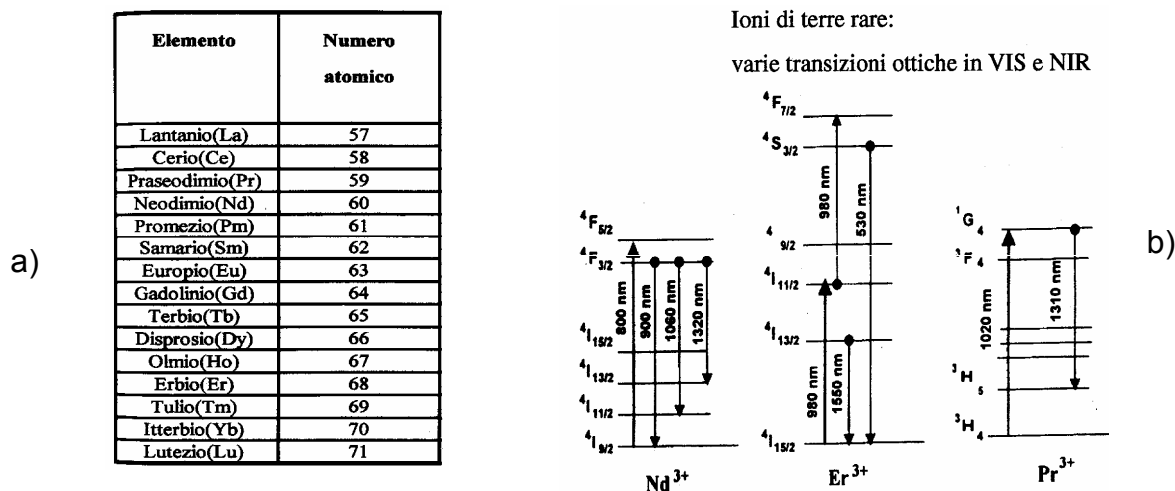


Fig. 1 - Transizioni nei livelli di energia delle terre rare

L'importanza di tali elementi nel campo delle telecomunicazioni risiede nel fatto che gli ioni di terre rare, opportunamente eccitati, mostrano varie transizioni nei livelli di energia (Fig. 1b) che danno luogo ad emissioni nel visibile (VIS) e vicino infrarosso (NIR). Alcune transizioni sono comprese nelle finestre di trasmissione delle fibre ottiche. In particolare, lo ione erbio (Er^{3+}) presenta una transizione alla lunghezza d'onda di 1530 nm (terza finestra di trasmissione delle fibre ottiche per telecomunicazioni), gli ioni praseodimio (Pr^{3+}) e neodimio (Nd^{3+}) mostrano transizioni rispettivamente alla lunghezza d'onda di 1310 nm e di 1320 nm (seconda finestra di trasmissione delle fibre ottiche per telecomunicazioni).

La fig. 2 schematizza alcune transizioni fra i livelli di energia dello ione erbio insieme al meccanismo di amplificazione che ne deriva. Come si vede, lo ione Er^{3+} può comportarsi analogamente ad un laser a 3 livelli: gli elettroni che inizialmente si trovano al livello di energia fondamentale $^4I_{15/2}$, possono assorbire energia da un laser di pompa (alla lunghezza d'onda di 980 nm) e portarsi al livello di energia superiore $^4I_{11/2}$. Da questo livello decadono velocemente al livello metastabile $^4I_{13/2}$. Poichè il tempo di vita (il tempo di permanenza) nel livello metastabile è sufficientemente lungo (alcuni msec) è possibile creare un'inversione di popolazione tra tale livello e il livello fondamentale $^4I_{15/2}$. Una volta creata l'inversione di popolazione fra i due livelli, si può ottenere amplificazione per emissione stimolata. Infatti, gli elettroni che si trovano sul livello metastabile possono essere fatti decadere, in modo stimolato, dai fotoni del segnale che viene inviato all'ingresso della fibra, mentre il laser di pompa mantiene la condizione di inversione di popolazione in modo da favorire i processi di emissione rispetto a quelli di assorbimento. Il processo si ripete per tutta la lunghezza della fibra, si ottiene quindi, in uscita da questa, un segnale amplificato rispetto a quello di ingresso.

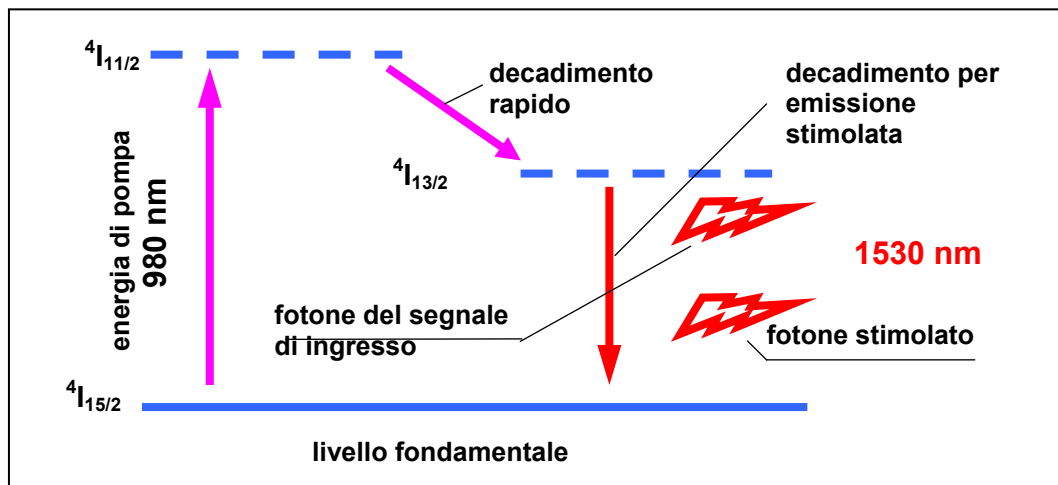


Fig. 2 – Livelli energetici dello ione Er^{3+} e meccanismo di amplificazione

Vale la pena sottolineare come l'amplificatore ottico sia analogo al laser: ha il mezzo attivo (fibra attiva), il sistema di pompaggio (laser di pompa), tuttavia non ha cavità risonante per il fatto che è, appunto, un amplificatore e non un oscillatore come lo è il laser.

In fig. 3 è riportato lo schema di un amplificatore a fibra ottica :

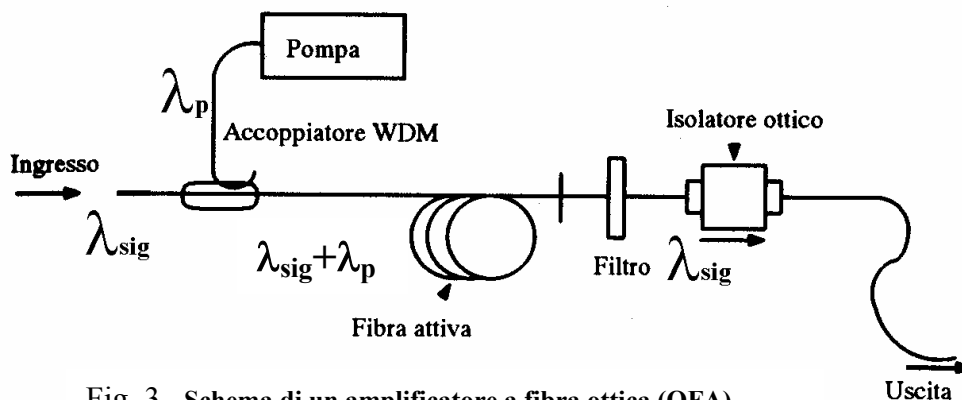


Fig. 3 - Schema di un amplificatore a fibra ottica (OFA)

Il segnale da amplificare (λ_{sig} è circa 1500nm nel caso di amplificatore EDFA) e il segnale di pompa (generato da un laser con $\lambda_p=980$ nm nel caso citato di amplificatore EDFA) vengono

miscelati da un moltiplicatore di lunghezza d'onda (accoppiatore WDM - **W**avelength **D**ivision **M**ultiplexer). I due segnali vengono immessi nella fibra attiva nella quale avviene l'emissione ottica stimolata che determina il guadagno del segnale.

Il filtro in uscita dalla fibra attiva serve ad eliminare qualsiasi residuo del segnale di pompa, mentre l'isolatore ottico viene utilizzato per eliminare eventuali riflessioni, che darebbero luogo ad un incremento del rumore.

Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche tipiche di un amplificatore OFA:

Guadagno interno	20-30 dB
Potenza max. in uscita	10-30 dBm
Cifra di rumore	< 4 dB
Lunghezza d'onda	1300 nm 1500 nm
Larghezza di banda	30-40 nm

Le principali funzioni che, in un impianto di trasmissione, gli amplificatori ottici possono svolgere sono:

- ripetitore di linea (amplificazione lungo il collegamento)
- amplificatore di potenza nel trasmettitore (booster)
- preamplificatore nel ricevitore

La fig. 4 mostra schematicamente la rete di transito in fibra ottica di Telecom Italia che impiega circa 200 amplificatori ottici EDFA:

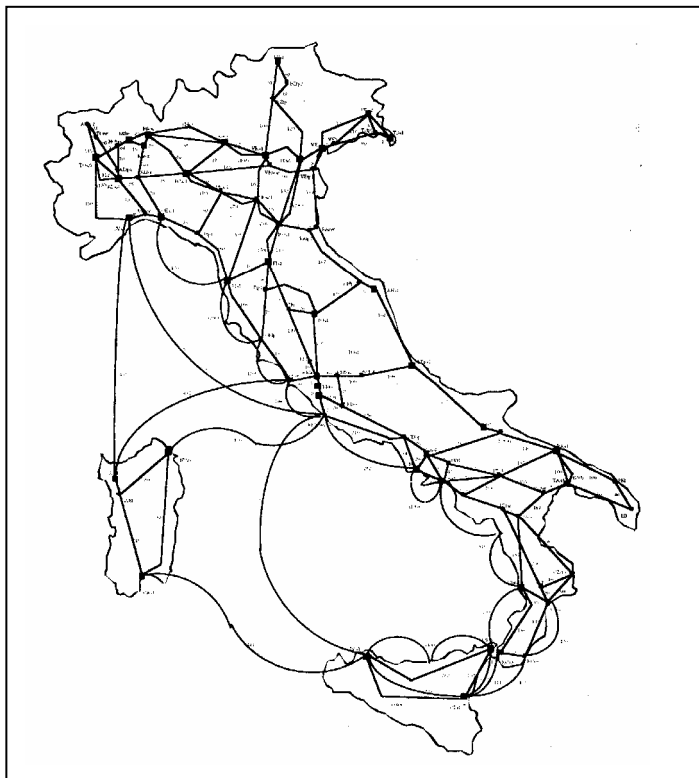


Fig. 4

Rete di transito nazionale in fibra ottica di Telecom Italia