



Inquadramento generale della Laser-terapia

www.fisiokinesiterapia.biz

Luce Laser: generalità

- **LASER**: acronimo per *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.
- Dispositivo in grado di emettere un fascio di luce coerente, monocromatica e concentrata in un raggio rettilineo estremamente collimato. Inoltre la luminosità (**brillanza**) delle sorgenti laser è elevatissima a paragone di quella delle sorgenti luminose tradizionali.

Componenti di un Laser:

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1) Mezzo ottico attivo | 3) Specchio |
| 2) Energia fornita al mezzo ottico | 4) Specchio semiriflettente |
| | 5) Fascio laser in uscita |



Luce Laser: proprietà

- **Direzionalità:** il laser emette la radiazione in un'unica direzione. Questa caratteristica permette di trattare le superfici in maniera estremamente accurata.
- **Monocromaticità:** l'emissione laser è costituita da un'onda elettromagnetica di una ed una sola frequenza, facilitando la selettività degli effetti sul bersaglio.

Luce Laser: proprietà

- **Brillanza**: la collimazione della sorgente permette la concentrazione di elevate intensità su piccole superfici, permettendo enormi densità di potenza.
- **Coerenza**: ogni fotone è in fase con tutti gli altri, senza interazioni. Le onde emesse sono identiche, sia nel tempo che nello spazio che come livello energetico.
- **Impulsi ultra-brevi**: è possibile costruire laser che emettano pacchetti di onde estremamente stretti nel dominio del tempo, (femtosecondo).

Luce Laser: proprietà

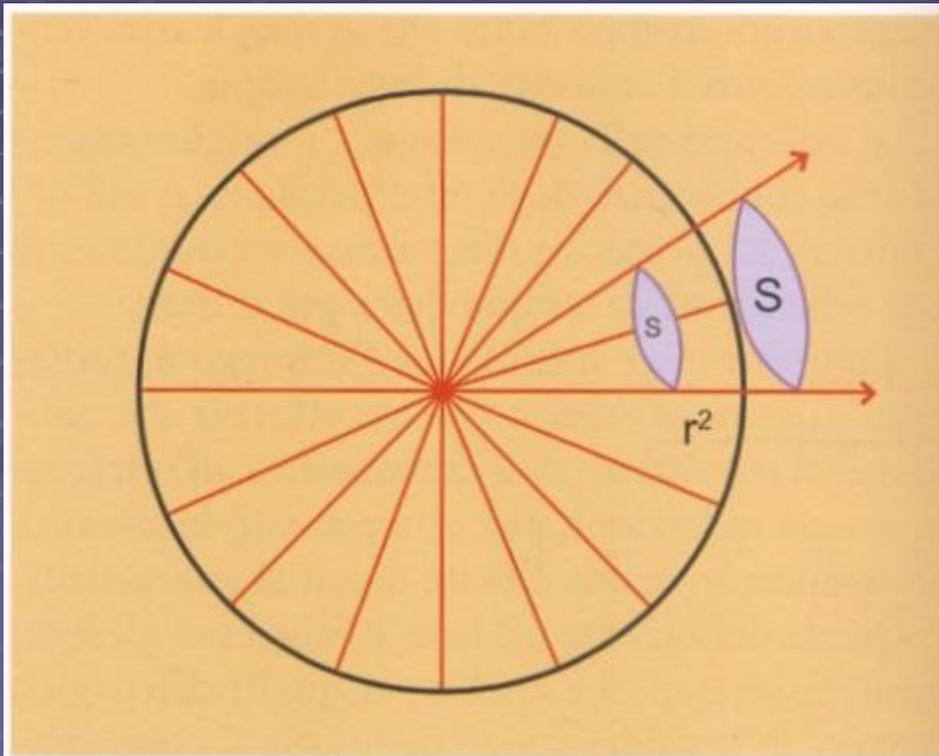


Fig. 7.2 Irradiazione di una sorgente naturale: l'intensità diminuisce in funzione del quadrato della distanza.

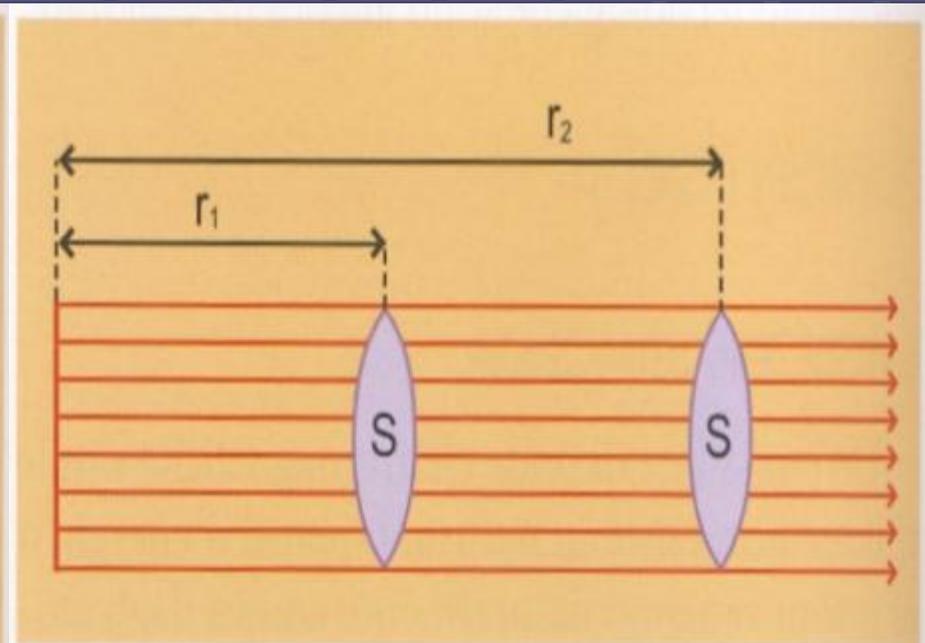


Fig. 7.3 – La radiazione laser presenta radiazioni parallele; non subisce la legge della dispersione quadratica in funzione della distanza, tipica delle sorgenti naturali.

Luce Laser: generatori

- Quattro elementi base: mezzo attivo, sistema di pompaggio, sistema di risonanza, sistema di collimazione.
- MEZZO ATTIVO: sostanze che, eccitate, generano il fascio fotonico (gas: elio-neon, Co₂ – plasma: argon, xenon – liquido: rhodamina – solido: neodimio-ittrio-alluminio-granato, semiconduttori/diodi)

Luce Laser: generatori

- **Sistema di pompaggio**: fornisce l'energia di eccitazione (ottico, elettrico, chimico)
- **Risonatore**: cavità ottica, cilindro cavo con due specchi (riflettenti al 100% e al 97% - detto *dicroico*).
- **Sistema di collimazione**: dispositivo che regola l'apertura del laser e lo spot in funzione del bersaglio (una sorta di iride).

Luce Laser: generatori

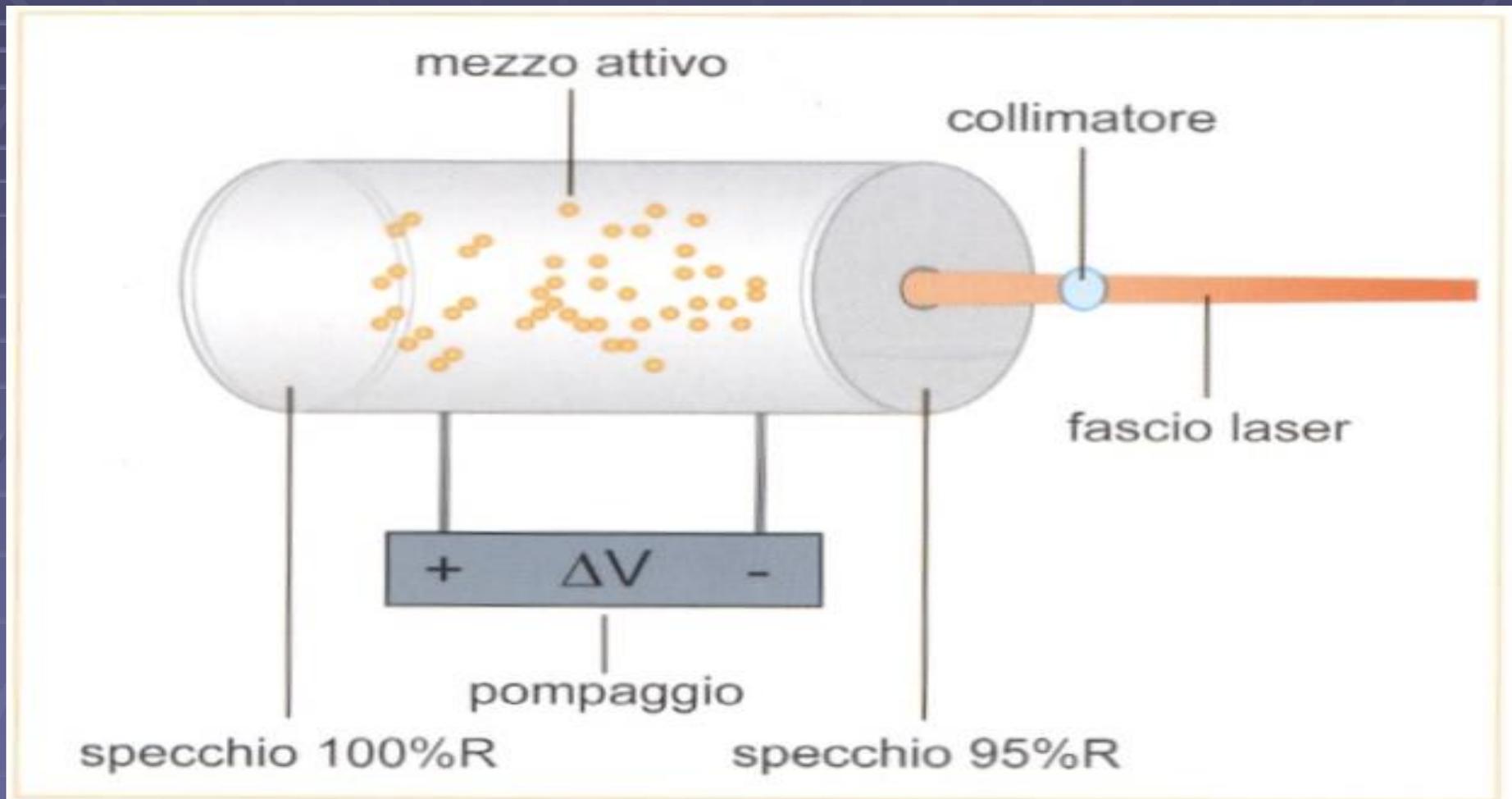
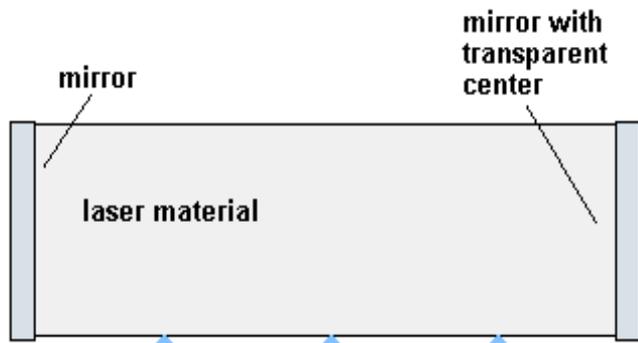
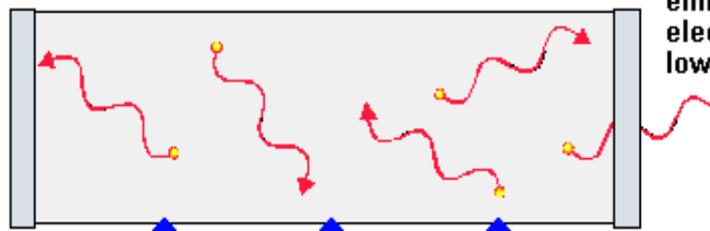


Fig. 7.4 – Schema di un generatore laser: mezzo attivo, sistema di pompaggio, risonatore a specchi e collimatore.



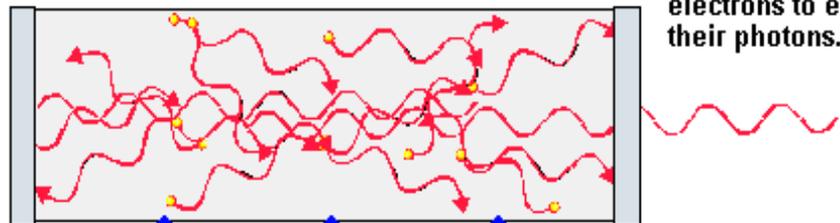
pump off pump pump

When laser is pumped, photons are spontaneously emitted as excited electrons return to lower energy levels.



pump on pump pump

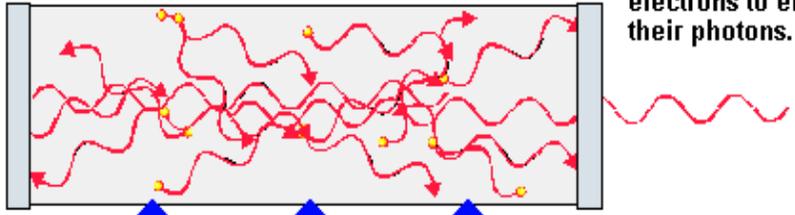
Photons reflect off mirrors and start to stimulate other electrons to emit their photons.



pump on pump pump

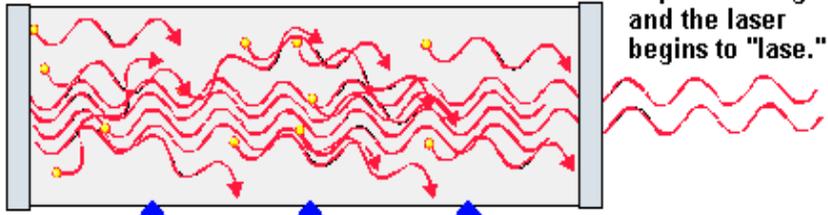
on on on on

Photons reflect off mirrors and start to stimulate other electrons to emit their photons.



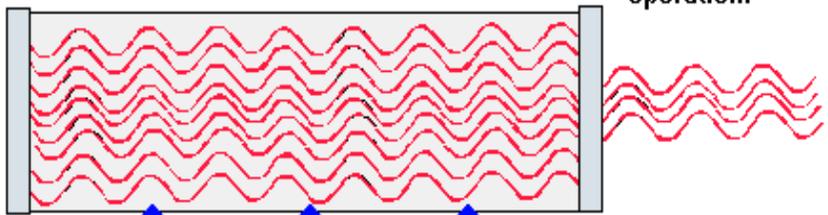
pump on pump pump

A chain reaction of photons begins and the laser begins to "lase."



pump on pump pump

Full operation.



pump on pump pump

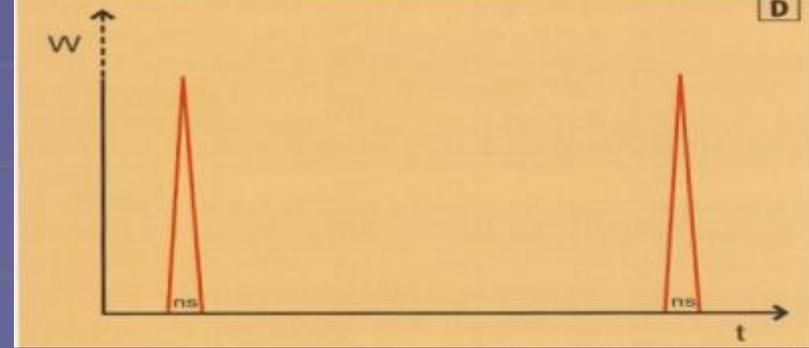
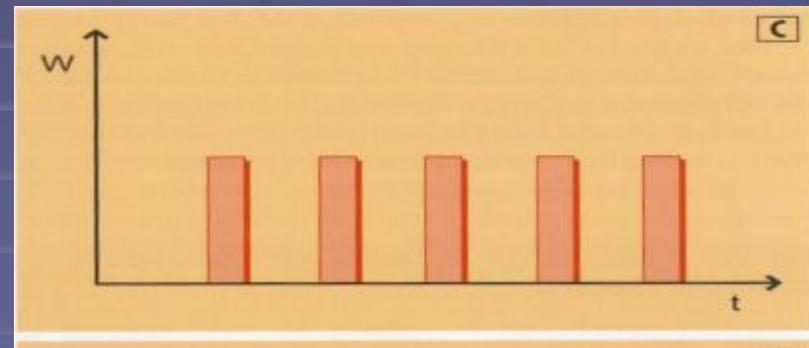
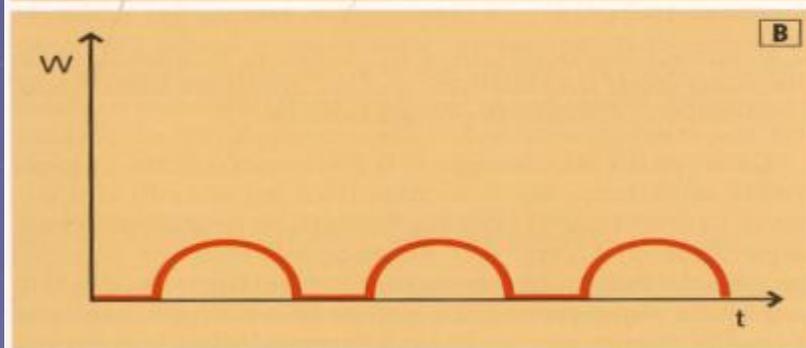
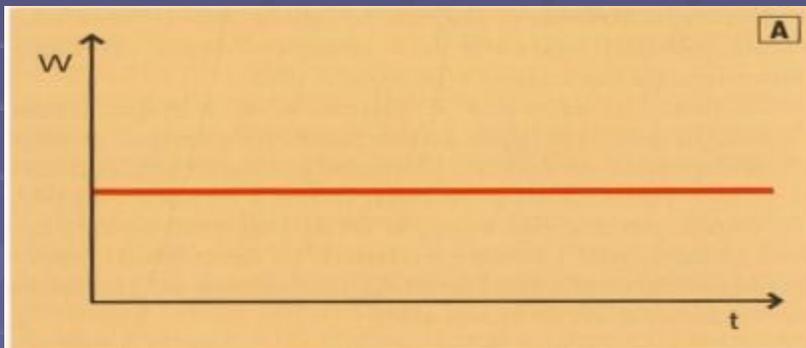
Luce laser: i mezzi attivi

Tab. 7.1 – Caratteristiche dei mezzi attivi dei laser più diffusi.

MEZZO ATTIVO	LUNGHEZZA D'ONDA (nm)	COLORE	EMISSIONE
GAS Elio-Neon Elio-Cadmio Vapori di Ra, Au Biossido di C (CO ₂) Azoto	633 ÷ 594 543 ÷ 632 325 ÷ 441 627 ÷ 570 10.600 337	rosso-giallo verde-arancio UV-violetto Rosso-giallo FIR UV	CW CW CW CW, PW PW
PLASMA (eccimeri) Argon Krypton Xenon	193 222 308	UV UV UV	PW
LIQUIDO Coloranti (Dye) Rhodamina 6	570 ÷ 650	UV-NIR-VIS	CW PW
SOLIDO Rubino Semiconduttori (Ga-As; Ga-Al-As) Neodimio:YAG	694 808 ÷ 980 1064	Rosso NIR NIR	PW CW PW CW, PW

Luce Laser: modalità di erogazione

- Modalità continua/pulsata e Q-Switch.
- M. continua (CW): fissa o a scansione - M. pulsata (PW): dissipazione del calore
- Q-Switch: impulsi ad alta potenza (MW) e durata ridotta (ns o meno).



Unità di misura dei laser

- Spot size: area di distribuzione sul bersaglio.
- Potenza (P): espressa in watt, indica il livello energetico dei fotoni emessi.
- Potenza di picco (Pp): P max dell'impulso.
- Potenza media (Pm): potenza media di tutti i tempi attivi nell'unità di tempo.
- Densità di potenza (intensità): potenza per unità di superficie

Unità di misura dei laser

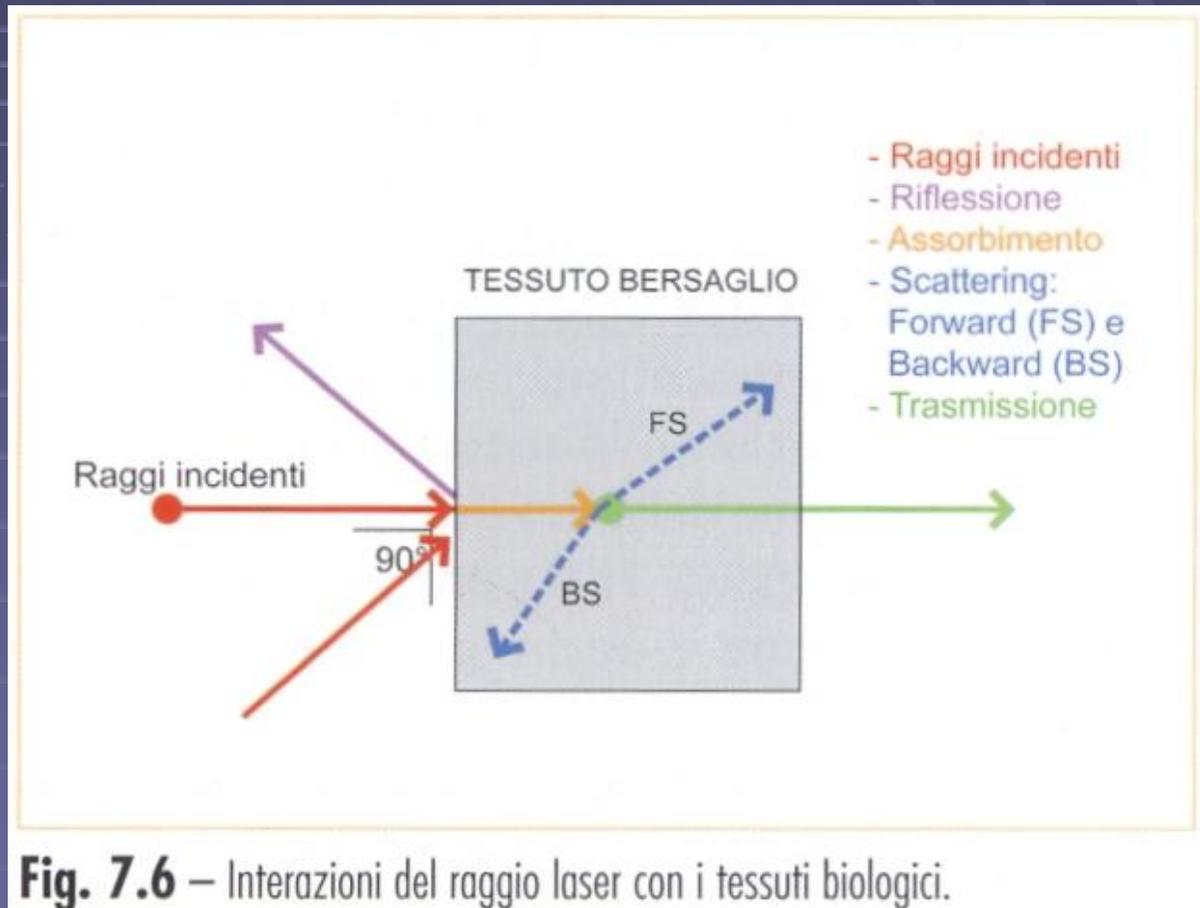
- **Energia totale (Et)**: quantità di energia laser somministrata nel trattamento (Joule).
- **Densità di energia o fluenza**: parametro che *permette di interpretare i protocolli terapeutici*, rappresenta l'energia somministrata per unità di superficie, espressa in Joule.
- **Fluenza d'impulso**: vedi fluenza, sul singolo impulso.

Tab. 7.II – Erogazione di 1 J in funzione della potenza media e del tempo di trattamento.

POTENZA MEDIA (mW)	TEMPO (s)	ENERGIA
1	1000	1 Joule
5	200	
10	100	
15	66,6	
20	50	
25	40	
30	33	
50	20	
75	13	
100	10	

Fenomeni ottici

- Riflessione – circa il 15% della radiazione
- Trasmissione: quota residua e soggetta a diffusione e assorbimento



I cromofori

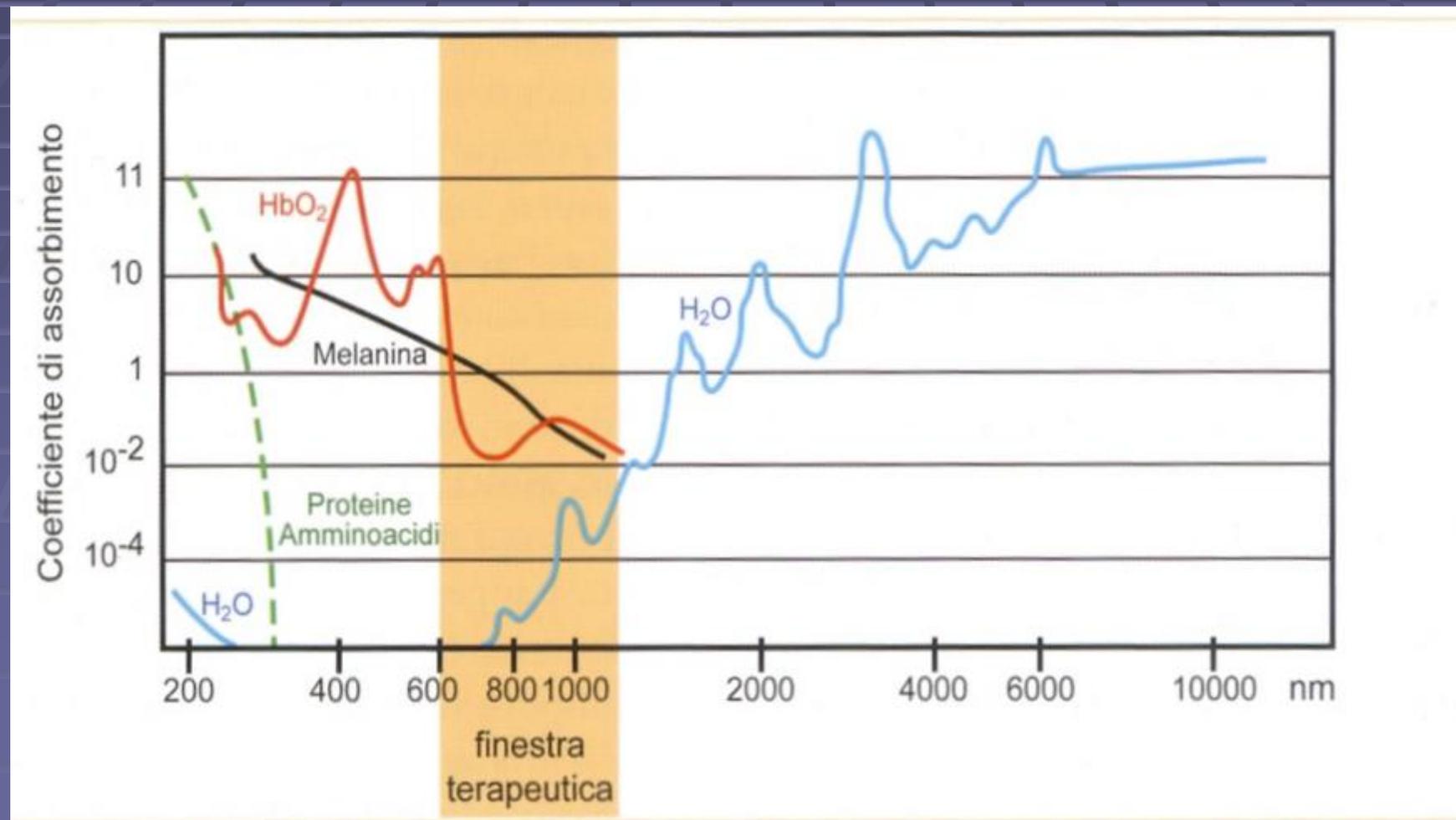
- Molecole endogene o esogene che mostrano spiccata selettività per l'assorbimento della radiazione laser, a varie frequenze.

Tab. 7.III – Cromofori di assorbimento dei principali laser

LASER	BANDA	λ (nm)	CROMOFORO
Eccimeri	UV C, B	<320	+++ melanina, ++ proteine, ++ ac. nucleici
Azoto	UV A	337	+++ melanina, ++ emoglobina
Argon	Visibile: blu-verde	488, 514	++ melanina, +++ emoglobina
Dye laser	Visibile: vari colori	570 ÷ 650	+++ melanina, +++ emoglobina
Kripton	Visibile: giallo-verde	568 ÷ 575, 520 ÷ 530	+++ melanina, +++ emoglobina
Elio-Neon	Visibile: rosso	612, 633	++ melanina, ++ deossi-emoglobina
Rubino	Visibile: rosso	694	+++ melanina, +++ pigmenti blu e verdi
Semiconduttori Ga-As, Al-Ga-As	NIR	805 ÷ 980	+ melanina, + deossi-emoglobina
Nd:YAG	NIR	1064	+ melanina, + ossiemoglobina
CO ₂	FIR	10.600	+++ acqua

I cromofori

- Condizionano l'uso terapeutico del laser, definendo la finestra utile in terapia fisica.



Effetti biologici

- **Eff. Fotochimici:** attivazione dell'attività enzimatica, della sintesi di proteine e degli scambi metabolici (fotoinduzione).
- **Eff. Fototermici:** riscaldamento per conversione dell'energia foto-elettro-meccanica in termica.

Tab. 7.IV – Effetti termici delle radiazioni laser.

EFFETTI DEL CALORE SUI TESSUTI	
40 ÷ 42°C	Stimolazione anabolica dei tessuti
42 ÷ 46°C	Rallentamento del metabolismo (reversibile)
46 ÷ 100°C	Necrosi coagulante (irreversibile)
100°C	Ebollizione – vaporizzazione
>100°C	Carbonizzazione

Effetti biologici

- Eff. Fotomeccanici: interazione fra impulso luminoso ad alta energia e tessuti genera onde elastiche di pressione.

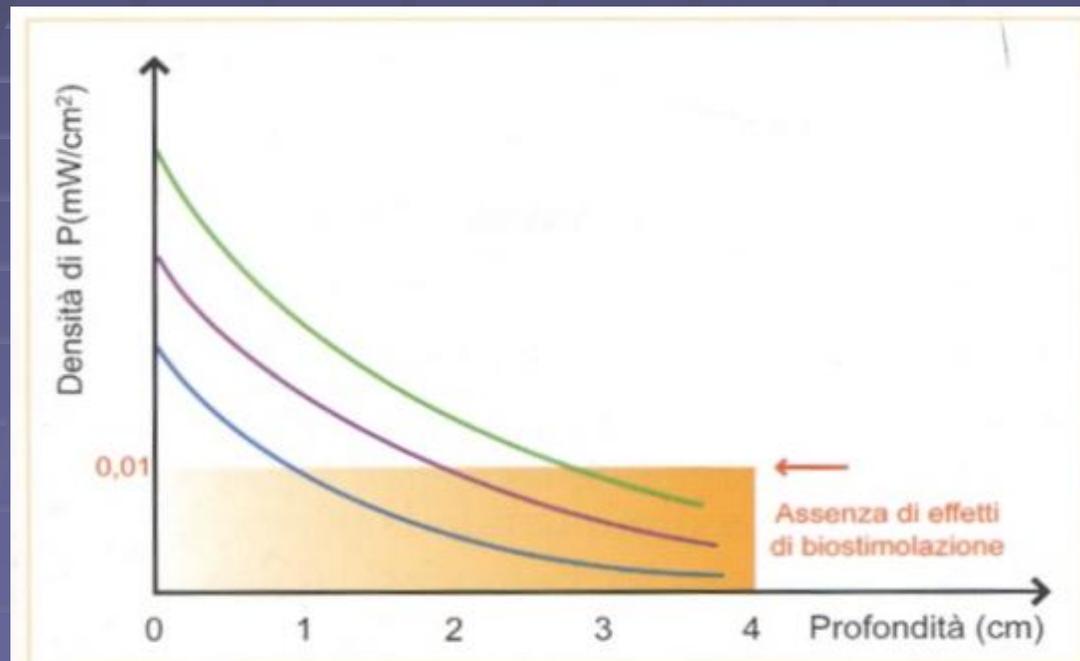


Fig. 7.8 – Attenuazione del raggio laser nei tessuti in funzione della densità di potenza: sotto la soglia di $0,01 \text{ mW/cm}^2$ non si hanno effetti biologici.

Proprietà terapeutiche dei laser

- Anti-edemigeno (iperemia attiva)
- Anti-infiammatorio (wash-out)
- Antalgico (blocco del potenziale d'azione nelle terminazioni nocicettive, wash-out, gate-control, rilascio di morfino-mimetici)
- Biostimolante (aumento della sintesi di ATP, aumento della replicazione cellulare e della sintesi di RNA e proteine)



Norme sul trattamento



- Radere accuratamente la zona da trattare;
- Pulire accuratamente la cute;
- Tenere il manipolo perpendicolare alla zona da trattare;
- Aumentare il raggio della zona da trattare del 20% se si usa uno scanner automatico;
- Rispettare le distanze indicate nei manuali;
- Non utilizzare MAI markers colorati;
- Attenzione agli stati di flogosi e alle ulcere!



Controindicazioni



- Utilizzare occhiali protettivi specifici per filtrare in modo adeguato la luce laser. L'occhio funziona da lente, restringe di moltissimo lo spot e porta il laser a bruciare la retina!
- Controindicazioni: zone in prossimità dell'occhio, diatesi emorragica, prossimità dell'utero in pazienti gravide, neoplasie, flogosi infettiva.

CLASSI DI RISCHIO PER GLI APPARECCHI LASER

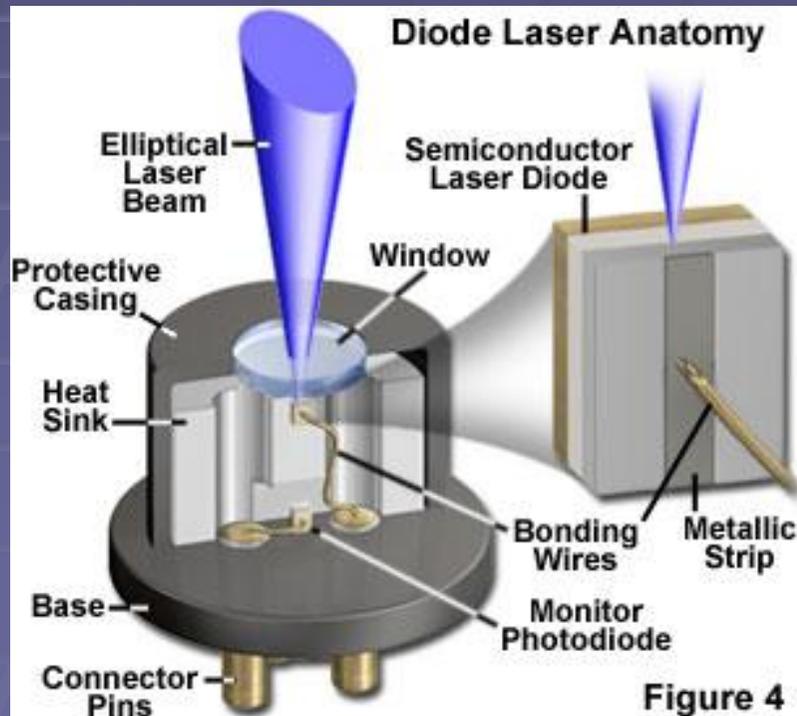
Classe 1	Laser che sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, compreso l'impiego di strumenti ottici per visione diretta.
Classe 1 M	Laser con $\lambda = 302,5 \div 4000$ nm che possono essere pericolosi se l'utilizzatore impiega ottiche all'interno del fascio.
Classe 2	Laser con $\lambda = 400 \div 700$ nm in cui la protezione dell'occhio è assicurata dal riflesso palpebrale. Eventuali altre emissioni diverse da $\lambda = 400 \div 700$ nm devono essere inferiori al LEA (<i>Limiti d'Emissione Accessibile</i>) della classe 1.
Classe 2 M	Laser come sopra in cui l'osservazione dell'emissione può essere pericolosa se l'utilizzatore impiega ottiche all'interno del fascio. Eventuali altre emissioni diverse da $\lambda = 400 \div 700$ nm devono essere inferiori al LEA della classe 1.



Classe 3 R	Laser con $\lambda = 302,5 \div 10^6$ nm, in cui la visione diretta è pericolosa; il limite d'emissione è compreso entro 5 volte il LEA della classe 2 per $\lambda = 400 \div 700$ nm e entro cinque volte il LEA della classe 1 per le altre lunghezze d'onda.
Classe 3 B	Laser che sono normalmente pericolosi in caso di visione diretta del fascio. Le riflessioni diffuse sono normalmente sicure.
Classe 4	Laser che sono in grado di produrre riflessioni diffuse pericolose; possono causare lesioni agli occhi ed alla pelle e costituire pericolo di incendio.

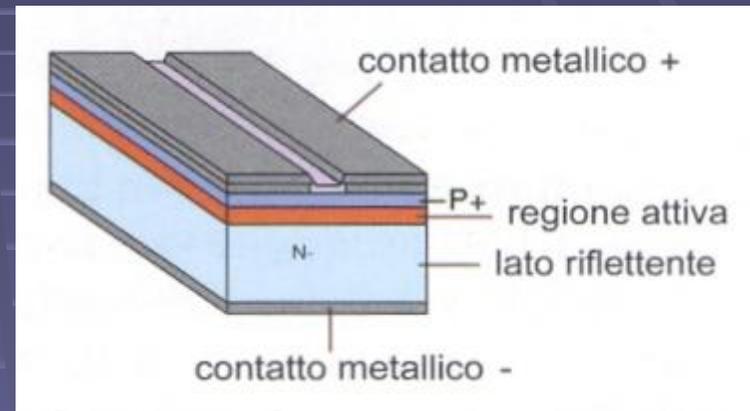
LASER A DIODI

- Il laser a diodi/semiconduttori sono i più utilizzati in Fisioterapia, per la loro semplice realizzazione, dimensioni contenute, bassi costi d'esercizio e frequenza d'onda duttile.



Generatori a giunzione P-N

- Cristallo formato da due materiali semiconduttori con caratteristiche diverse per eccessi di lacune (P) ed elettroni (N).
- Modellato in modo da fungere da cavità ottica, con potenza di emissione da 25mw ad alcuni Watt (con possibilità di usare più diodi).
- Frequenza di emissione modulabile dal sistema di pompaggio elettrico.



Effetti biologici

- Data la bassa intensità, maggiori effetti fotochimici, poco calore.
- La lunghezza d'onda è in finestra terapeutica (650-980 nm).
- Cromofori: deossiemoglobina ed ossiemoglobina
- Penetranza: 3-4cm

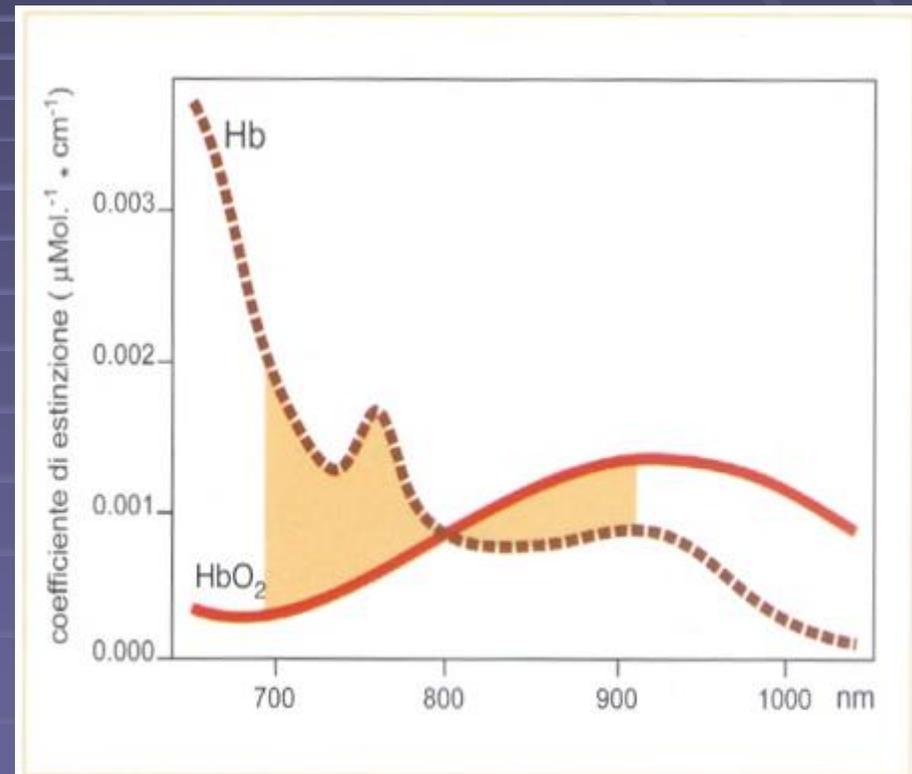


Fig. 7.10 – Laser diodici: spettro di assorbimento della deossiemoglobina (Hb) e dell'ossiemoglobina (HbO₂).

Parametri

- Potenza: tutto o nulla regolabile solo sui multidiodi.
- Frequenza: 100-500hz (analgesia); 500-1500hz (biostimolaz.); 2-10khz (antiedemig.)
- Energia totale e fluenza: definite in base alla patologia.
- Tempo: 15-20 min.

Tab. 7.VI – Caratteristiche dei più comuni laser a semiconduttore.

LASER DIODICI	
Lunghezza d'onda	650 ÷ 980 nm (rosso e vicino infrarosso, NIR)
Tipo di emissione	Continua (CW), continua interrotta (CW I), pulsata (PW)
Frequenza di emissione	1 Hz ÷ 1 GHz
Numero di diodi	1 ÷ 10
Potenza di picco	10 W ÷ 250 W
Potenza media	10 mW ÷ 5 W
Durata degli impulsi	50 ns ÷ 200 ns (PW) Dipendente dalla frequenza per la CW I comunque > 200 µs
Modalità di applicazione	Manipolo per trattamento a punti; erogatore multiodico a puntamento fisso; sistema di trattamento a distanza (scansione)

Modalità di erogazione



Fig. 7.11 A, B – A) Erogatore a manopolo monodiodico; B) Erogatore pluridiodico a puntamento fisso.

- A contatto
- Applicatori multidiodici
- Scanner
- Spot: singolo diodo circa 5mm, multidiodo fino a 5cm di diametro.

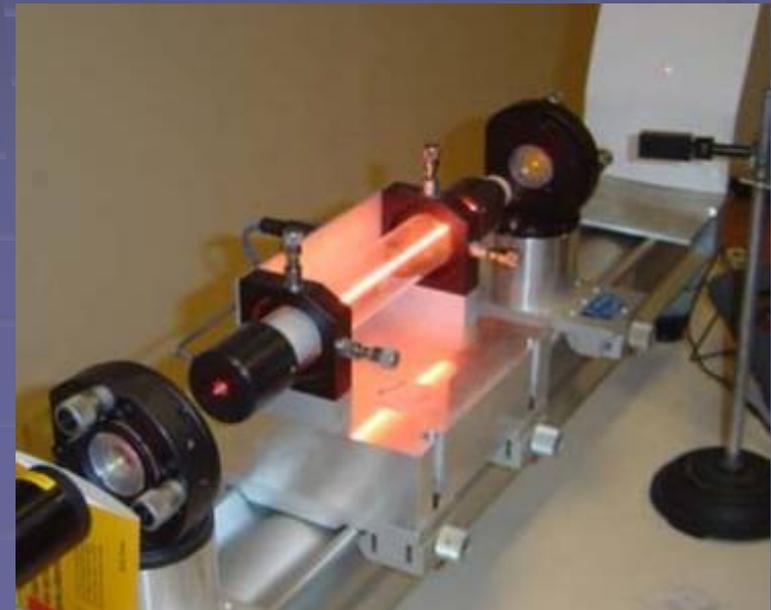
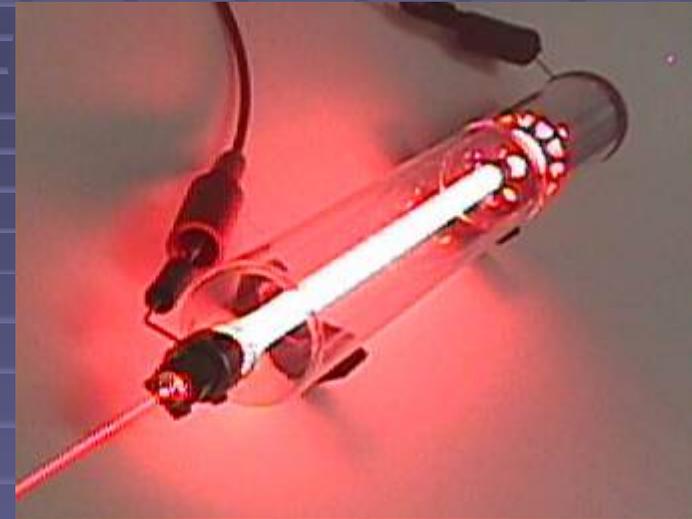
LASER DIODICI: INDICAZIONI TERAPEUTICHE

PATOLOGIA	MODALITÀ	FREQUENZA (Hz)	DOSE (J/cm ²)
Trigger e tender points	Manipolo monodiodo fisso Erogatore multidiodico	CW o 5000 ÷ 10.000 200 ÷ 500	0,75 ÷ 1,5
Patologie inserzionali (tendiniti, epicondiliti)	Manipolo monodiodo fisso Erogatore multidiodico	CW o 5000 ÷ 10.000 Fase acuta 200 ÷ 500 Fase sub-acuta 500 ÷ 2000 Fase cronica CW o 5000 ÷ 10.000	1,5 ÷ 2
Borsiti	Manipolo monodiodo scansione Erogatore multidiodico	CW o 10.000 Fase acuta 200 ÷ 500 Fase sub-acuta 500 ÷ 2000 Fase cronica CW o 5000 ÷ 10.000	5
Periartrite (spalla, anca)	Manipolo monodiodo scansione Erogatore multidiodico	CW o 10.000 Fase acuta 200 ÷ 500 Fase sub-acuta 500 ÷ 2000 Fase cronica CW o 5000 ÷ 10.000	8 ÷ 10

Artriti superficiali da AR	Manipolo monodiodo scansione Erogatore multidiodico	CW o 10.000 Fase acuta 200 ÷ 500 Fase sub-acuta 500 ÷ 2000 Fase cronica CW o 5000 ÷ 10.000	8 ÷ 10
Contusioni/ematomi	Manipolo monodiodo scansione Erogatore multidiodico	CW o 10.000 Fase acuta 200 ÷ 500 Fase sub-acuta 500 ÷ 2000 Fase cronica CW o 5000 ÷ 10.000	10 ÷ 20
Cervicalgia (muscolo tensiva)	Manipolo monodiodo scansione Erogatore multidiodico	CW o 10.000 Fase acuta 200 ÷ 500 Fase sub-acuta 500 ÷ 2000 Fase cronica CW o 5000 ÷ 10.000	6 ÷ 8
Lombalgia (muscolo tensiva)	Manipolo monodiodo scansione Erogatore multidiodico	CW o 10.000 Fase acuta 200 ÷ 500 Fase sub-acuta 500 ÷ 2000 Fase cronica CW o 5000 ÷ 10.000	10 ÷ 20
Ulcere trofiche	Manipolo monodiodo scansione Erogatore multidiodico	500	0,5 ÷ 3

LASER ELIO-NEON

- Compete coi laser diodici nell'emissione e bassa intensità.
- E' il laser più usato al mondo nella sua versione a bassissima potenza (<1 Mw) come puntatore o luce guida in molti strumenti di precisione ed armi.



Generatore

- Mezzo attivo: miscela di elio e neon in rapporto 9:1 - Sistema di pompaggio: scarica elettrica
- Risonatore: doppio specchio (di cui uno diecrico al 95%), con possibilità di selezionare la radiazione a 632nm (rosso visibile) o 543nm (verde visibile).

Tab. 7.VIII – Caratteristiche dei laser a elio–neon.

LASER He–Ne	
Lunghezza d'onda	632, 543, 594 nm (visibile rosso, verde)
Tipo di emissione	Continua (CW)
Potenza	0,5 mW ÷ 100 mW
Modalità di erogazione	Manipolo fisso o a scansione.

Effetti biologici

- A 632nm scarso assorbimento dai cromofori (deossi-emoglobina), con alta penetranza.
- La bassa energia non riesce, però, a creare effetti biologici oltre i 3cm.

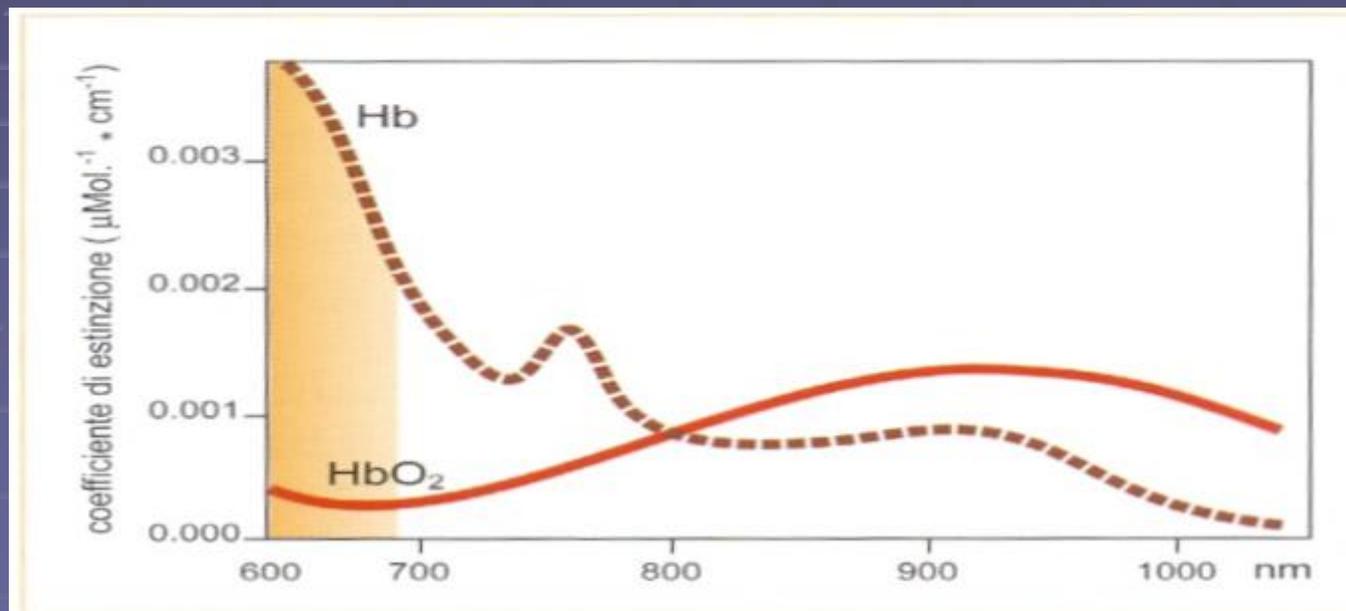


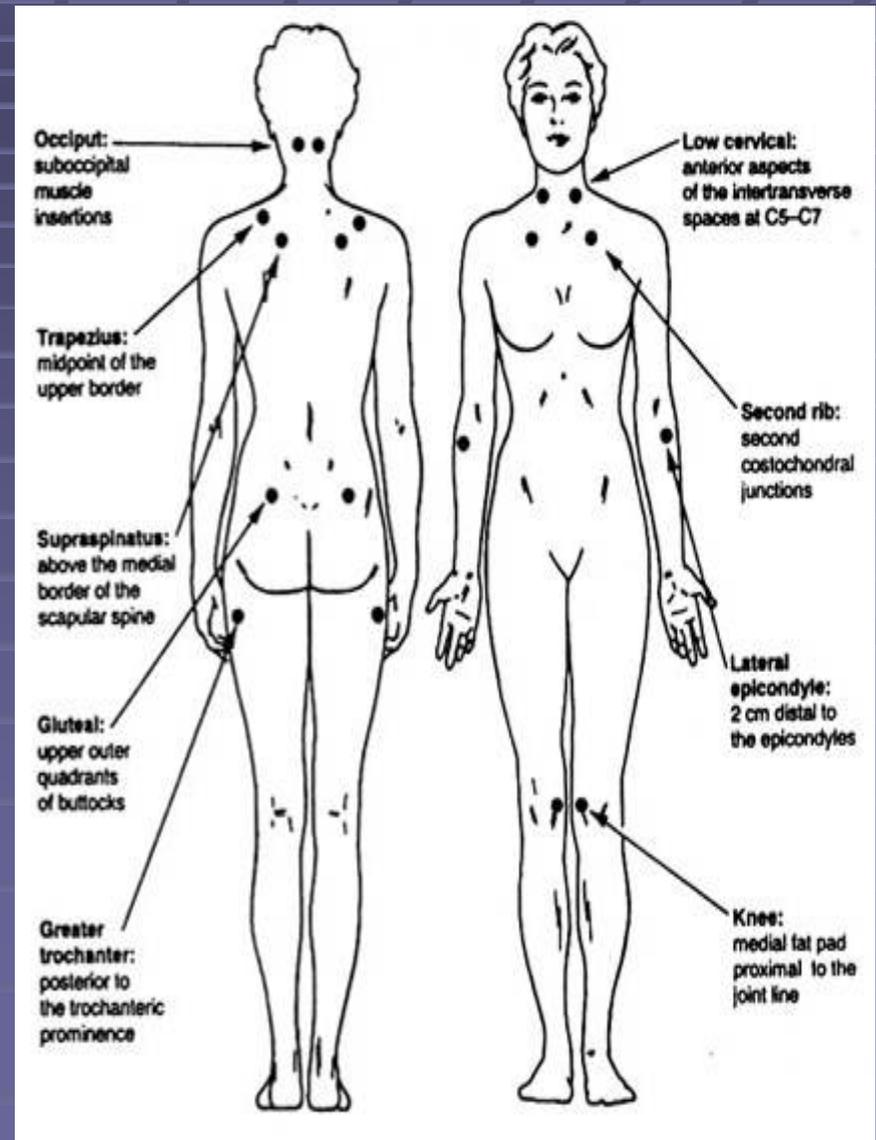
Fig. 7.13 – Curva di assorbimento dell'ossiemoglobina e della deossi-emoglobina (Hb): maggiore sensibilità della deossi-emoglobina (Hb) ad assorbire le radiazioni della banda 600-690 nm.

Parametri e trattamento

- Emissione in onda continua e bassa potenza (0,5 – 100mW)
- La bassa potenza aumenta il tempo di trattamento, con uno strumento medio da 25mw servono 40 secondi per ogni singolo punto da trattare, volendo erogare 1 Joule di energia.
- L'erogazione è a manipolo fisso, il trattamento per punti.

Indicazioni terapeutiche

- Nevralgie da H. Zoster
- Fibromialgia (trattamento dei tender points).
- Ulcere e piaghe da decubito (effetto biostimolante prodotto dall'esistenza della deossiemoglobina come cromoforo).



LASER CO₂ (Anidride Carbonica)

- Primo laser ad alta potenza utilizzato in terapia fisica.

Tab. 7.IX – Caratteristiche del laser a CO₂ utilizzato in Fisioterapia.

LASER CO ₂	
Lunghezza d'onda	10.600 nm (lontano infrarosso, FIR)
Tipo di emissione	Continua (CW), pulsata (PW)
Frequenza di emissione	1 Hz ÷ 200 Hz
Defocalizzazione	>5 cm Ø
Potenza di picco	30W ÷ 150W
Potenza media	1 W ÷ 20W
Durata degli impulsi	100 µs
Modalità di erogazione	Scansione con braccio meccanico o manuale

Generatori



- Mezzo attivo: miscela gassosa di Co_2 , Azoto e Elio in rapporto 8:1:1.
- Potenza max 20W (per FT) ed uno spot medio di 5cm di diametro, con emissione continua o pulsata e lunghezza d'onda di 10600nm (FIR).

Effetti biologici

- Cromoforo: ACQUA (assorbimento 100%)
- Bassissima penetranza (200 micron) e notevole sviluppo di calore, portato in profondità per convezione/conduzione.
- Bersaglio preferenziale: terminazioni nervose sensitive e nocicettive.
- Massima convezione nel mesoderma.

Parametri e trattamento

- Densità di potenza: soglia del dolore molto variabile, da $2\text{W}/\text{cm}^2$ a $15\text{W}/\text{cm}^2$. Nessun pericolo di ustione grazie alla defocalizzazione.
- Modalità continua: riservata alle patologie croniche, col calore come lenitivo.
- Modalità pulsata: frequenza 1-50hz, con possibilità di conservare un'alta densità di potenza anche a basse frequenze d'impulso.

Parametri e trattamento

- Superficie da trattare: in cm^2 , serve per calcolare la densità di energia (in Joule).
- Tempo: regolazione automatica in base ad area e potenza.
- Velocità di scansione: più è alta, maggiore è la dispersione termica. Di solito la velocità di scansione è di 5-7 cm/s .
- Dose: J/cm^2 . Maggiore per le patologie croniche, a cui è riservata l'erogazione continua.

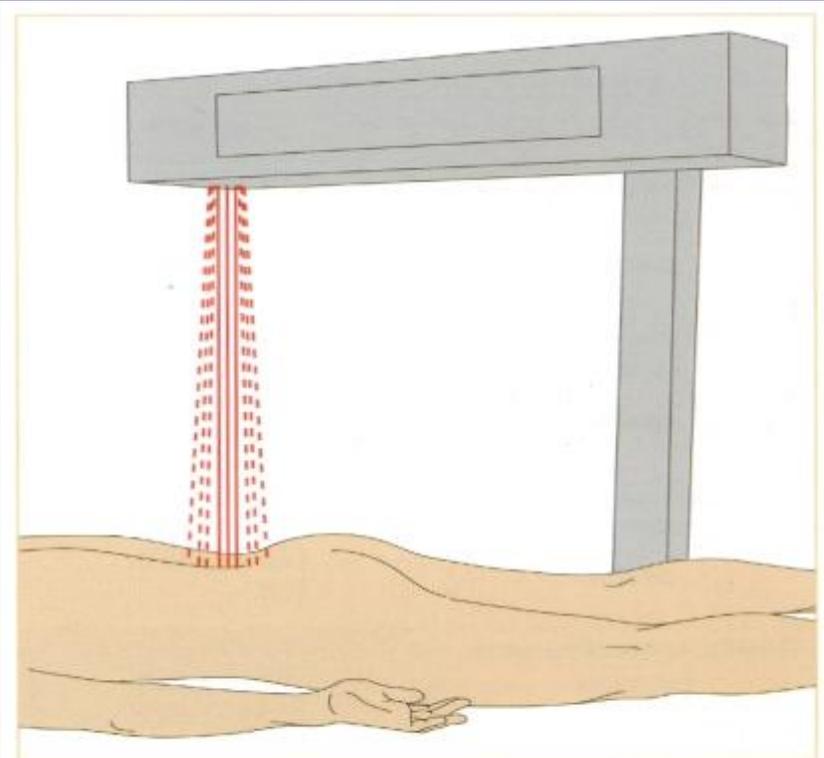


Fig. 7.14 – Scansione automatica del laser a CO₂: il fascio fotonico non è sempre perpendicolare alla regione trattata.

Tab. 7.X – Determinazione dei tempi di erogazione per ottenere 10 J di densità d'energia, impostando il livello di potenza e la dimensione dell'area.

	Area (cm ²)									
	25	35	50	70	100	150	200	235	300	400
Potenza (W)	Tempo (s)									
5	50	70	100	140	200	300	400	450	600	800
7	36	50	72	100	143	221	286	321	429	571
10	25	35	50	70	100	150	200	225	300	400

LASER CO₂: INDICAZIONI TERAPEUTICHE

PATOLOGIA	MODALITÀ	ENERGIA J/cm ²	POTENZA MEDIA (W)
Cervicalgia acuta sub-acuta cronica	PW 10 Hz	10	1
	PW 10 ÷ 20 Hz	10 ÷ 15	1
	{ PW 30 ÷ 40 Hz	15 ÷ 20	2
	{ CW	15 ÷ 20	2 → 5
Dorsalgia acuta sub-acuta cronica	PW 10 Hz	10	1
	PW 10 ÷ 20 Hz	15 ÷ 20	1
	{ PW 30 ÷ 40 Hz	15 ÷ 20	2
	{ CW	20	2 → 10
Lombalgia acuta sub-acuta cronica	PW 10 Hz	10	1
	PW 10 ÷ 20 Hz	15 ÷ 20	1
	{ PW 30 ÷ 40 Hz	15 ÷ 20	2
	{ CW	20	2 → 15

Gomito: epicondilite acuta sub-acuta cronica	PW 10 Hz	5	1
	PW 10 ÷ 20 Hz	7	1
	{ PW 30 ÷ 40 Hz	10	2
	{ CW	10	2 → 5
Spalla: (periartrite) acuta sub-acuta cronica	PW 10 Hz	5	1
	PW 10 ÷ 20 Hz	7	1
	{ PW 30 ÷ 40 Hz	10	2
	{ CW	10 ÷ 15	2 → 7
Artrite superficiale acuta sub-acuta cronica	PW 10 Hz	5	1
	PW 10 ÷ 20 Hz	7	1
	{ PW 30 ÷ 40 Hz	10	2
	{ CW	10 ÷ 15	2 → 7
Morbo di Raynold 1°-3° trattamento 4°-6° trattamento 7°-10° trattamento	CW	10	2
	CW	15	5
	CW	15 ÷ 20	2 → 7

LASER NEODIMIO YAG

- Il laser neodimio-itrinio-alluminio-granato (Nd:YAG) è stato introdotto negli anni '90 ed ha rappresentato un balzo in avanti nella terapia fisica coi laser.
- Ha un'alta penetranza ed un'alta potenza (vicina ai laser Co2). Inoltre, la sua radiazione può essere veicolata da fibre ottiche, dando grande maneggevolezza allo strumento.



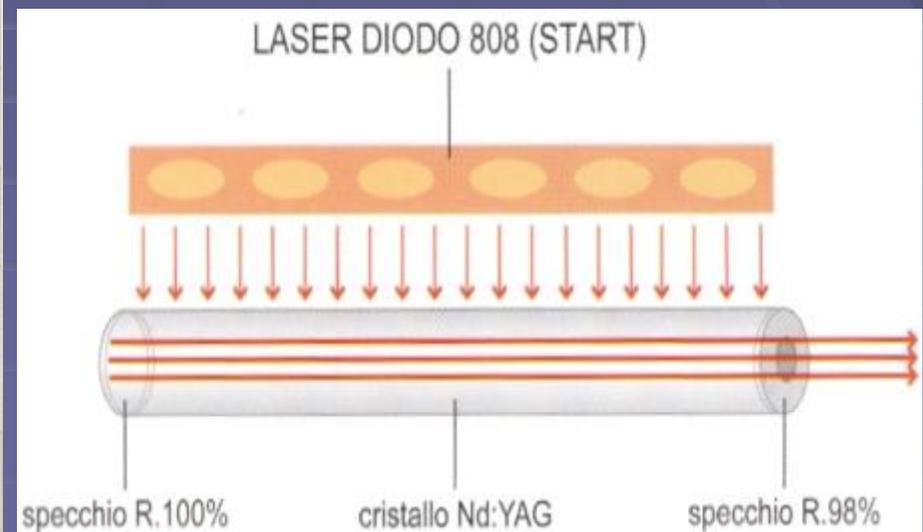
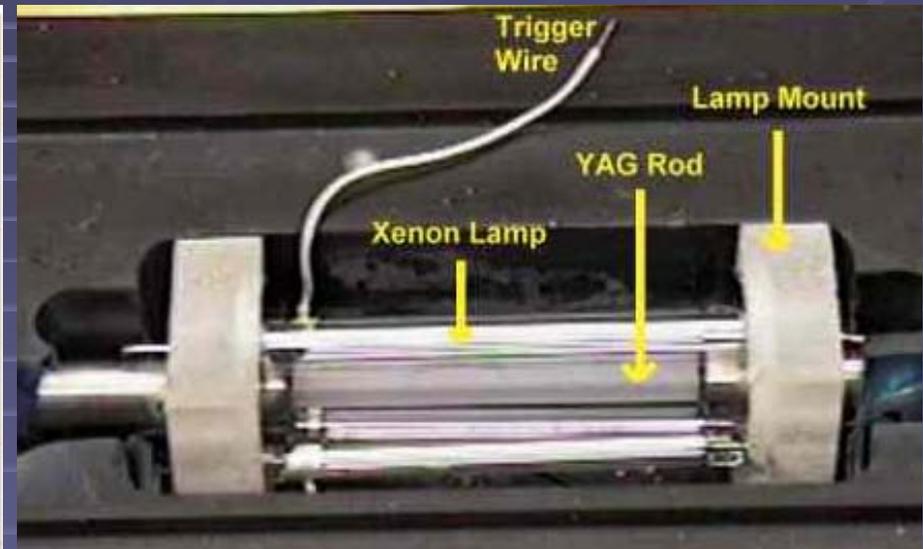
Nd:YAG - generalità

- Il laser Nd:YAG ha lunghezza d'onda di 1064nm (FIR), il suo sistema di pompaggio è ottico (talvolta un secondo laser diodico), può arrivare a potenze di picco di migliaia di watt e lo specchio diecrico è riflettente al 98%
- La radiazione è già molto collimata all'origine (400micron), ma si può allargare lo spot con opportune lenti defocalizzanti e portarlo da 5 a 60mm di diametro.



Nd:YAG - generatore

LASER NEODIMIO YAG	
Lunghezza d'onda	1064 nm: vicino infrarosso (NIR)
Tipo d'emissione	Continua (CW) Continua interrotta (CW-I) Pulsata (PW)
Frequenza di emissione	1 Hz ÷ 50 Hz
Potenza di picco	100 W ÷ 3000 W
Potenza media	0,5 W ÷ 10 W
Durata degli impulsi	70 μ s ÷ 350 μ s
Modalità di erogazione	Manipolo fisso o a scansione manuale Erogatori fissi: rari
Trasmissione	Fibra ottica



Cromofori e assorbimento

- 1064nm: ancora in finestra terapeutica
- Basso assorbimento dai cromofori
- Cromoforo principale: melanina
- Altri cromofori: ossiemoglobina, acqua
- Penetranza diretta = qualche cm
- Penetranza per effetto backward scattering = vari cm, con aspetto “globoso” dello “spot profondo”.

Cromofori e assorbimento

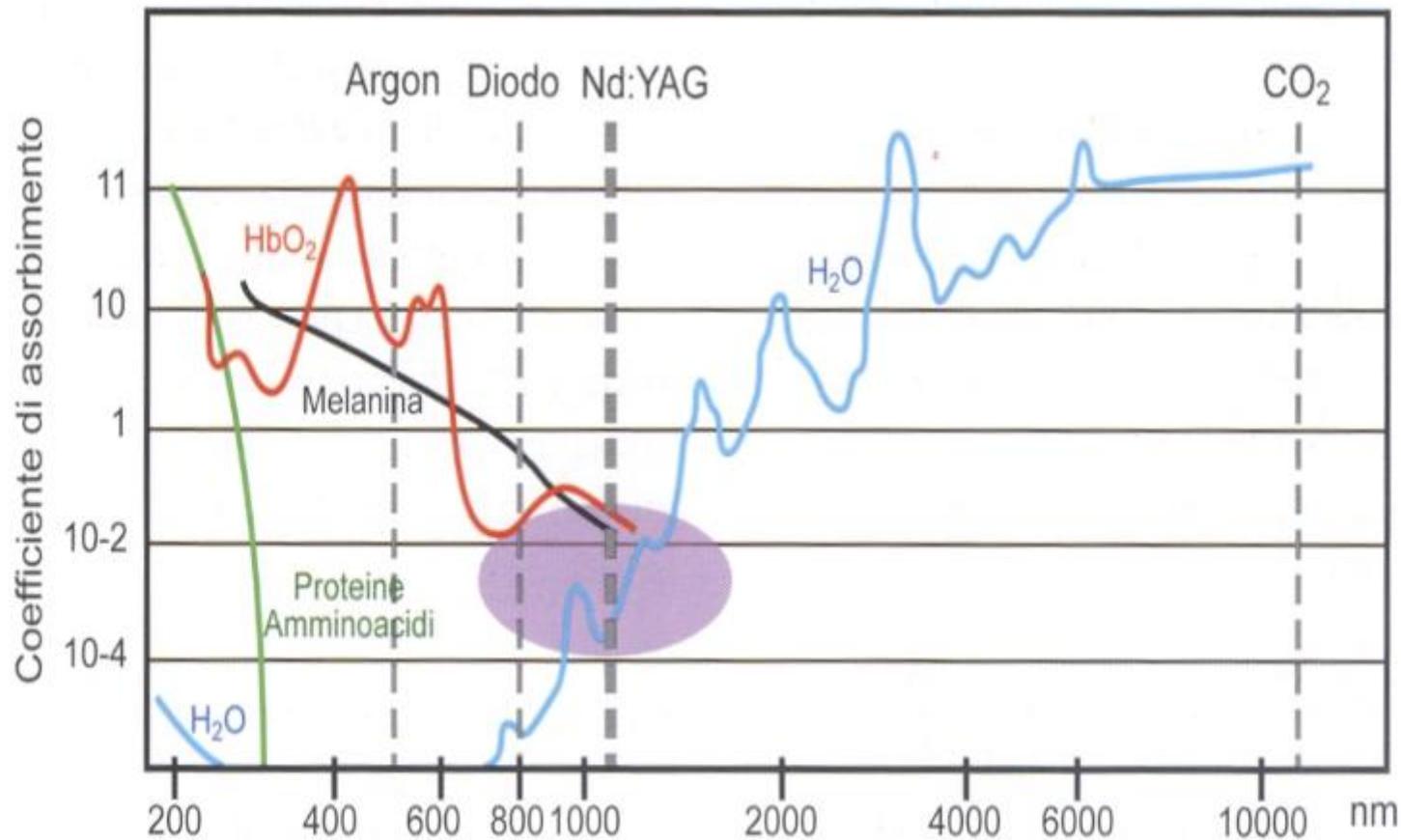


Fig. 7.16 – Coefficiente d'assorbimento della radiazione di 1064 nm, tipica del laser Nd:YAG, da parte dei cromofori: melanina, ossiemoglobina (HbO_2) e acqua (H_2O).

Effetti biologici Nd:YAG specifici

- Eff. Fotochimici: a 5-6mm di profondità, aumento dell'attività mitocondriale.
- Eff. Fotomeccanici: con impulsi di 100-200microsecondi a 3000W di potenza si ottengono onde di compressione non citolesive, ma intensamente stimolanti cartilagini, tendini e legamenti.
- Eff. Fototermici: conversione dell'energia luminosa in energia termica.

Nd:YAG CW (emissione continua)

- L'uso del laser Nd:YAG in modalità continua (CW) richiede conoscenza di potenzialità e limiti dello strumento.
- Grande trasferimento energetico in pochi minuti, col limite dell'eccessivo riscaldamento dei tessuti superficiali.



TST – Tempo di soglia termica

- Tempo che passa tra l'inizio dell'erogazione CW e la percezione del calore come stimolo doloroso da parte del paziente.
- Il laser deve essere tarato per avere un TST di almeno 10 secondi (CW-Interrotta).

Tab. 7.XIII – Parametri indicativi per determinare la densità di potenza in relazione alla profondità del tessuto target, in un individuo adulto, di razza bianca.

PROFONDITÀ (mm)	MODALITÀ	W/cm ²
0 ÷ 20	CW	0,5 ÷ 1,5
0 ÷ 25	CW	2,0 ÷ 2,5
0 ÷ 30	CW	3,0 ÷ 3,5
0 ÷ 40	CW-I 10 ÷ 15 Hz	4,0 ÷ 5,0
0 ÷ 60	CW-I 10 ÷ 20 Hz	5,0 ÷ 8,0

Nd:YAG PW (emissione pulsata)

- L'introduzione in Terapia Fisica dei laser Nd:YAG in modalità pulsata (PW) è recente (1997) ed in continua evoluzione.
- Rispetto alla CW, la PW permette di utilizzare intensità di luce incidente molto alte, mantenendo un incremento termico superficiale tollerabile.



Vantaggi del sistema pulsato

- Azione più profonda;
- Distribuzione più omogenea dei fotoni nel tessuto irradiato;
- Incremento della sicurezza.

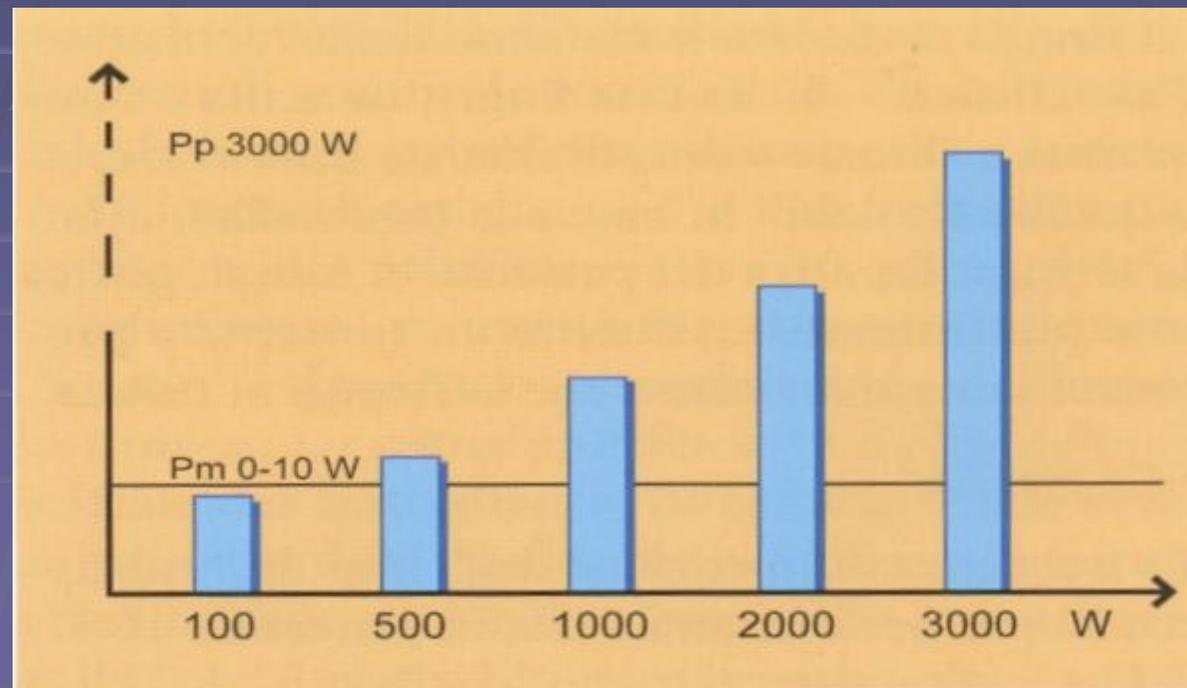


Fig. 7.17 – Laser Nd:YAG HILT: impulsi di diversa potenza di picco.

Parametri: fluenza d'impulso

- Si misura in mJ/cm^2
- La determinazione della fluenza dipende dalla fase clinica della patologia e dalla profondità del tessuto bersaglio.
- $360\text{-}810\text{mJ}/\text{cm}^2$: analgesia in regioni poco profonde (trigger/tender points)
- $970\text{-}1780\text{mJ}/\text{cm}^2$: stimolazione di strutture profonde (cartilagini)

Parametri: frequenza

- Varia da 10 a 50hz (sui sistemi più potenti da 10 a 30hz).
- Va regolata per modulare la quantità di energia erogata ai tessuti in funzione della fluenza o per motivi clinici.
- Se si vuole erogare una quantità omogenea di energia a tessuti di varia profondità, si possono utilizzare progressivamente fluenze più elevate e frequenze più basse (suddivisione in “step” del trattamento).

Parametri: frequenza

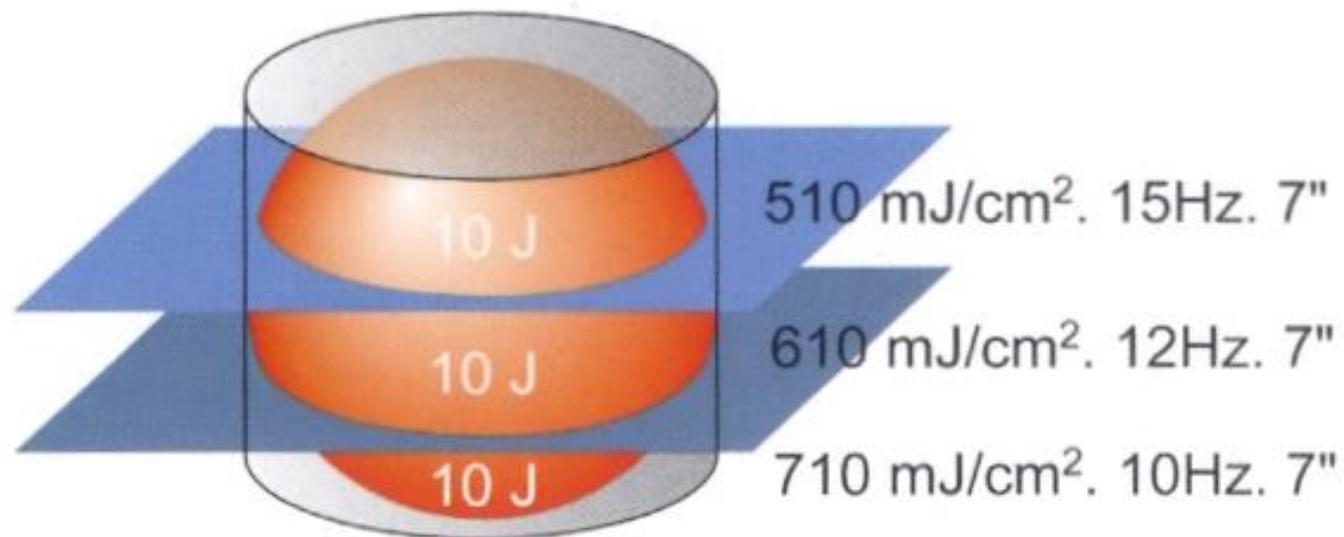


Fig. 7.18 – Suddivisione del trattamento in step di fluence progressivamente crescenti e frequenza progressivamente decrescente, al fine di erogare a tutti i livelli la medesima quota energetica.

Modalità di erogazione

- Per punti (preferibile manipolo fisso) o a scansione manuale.
- Due tipi di manipoli: uno con spaziatore e raggio collimato e tarato di conseguenza, l'altro a contatto cutaneo con recupero ottico della luce riflessa.

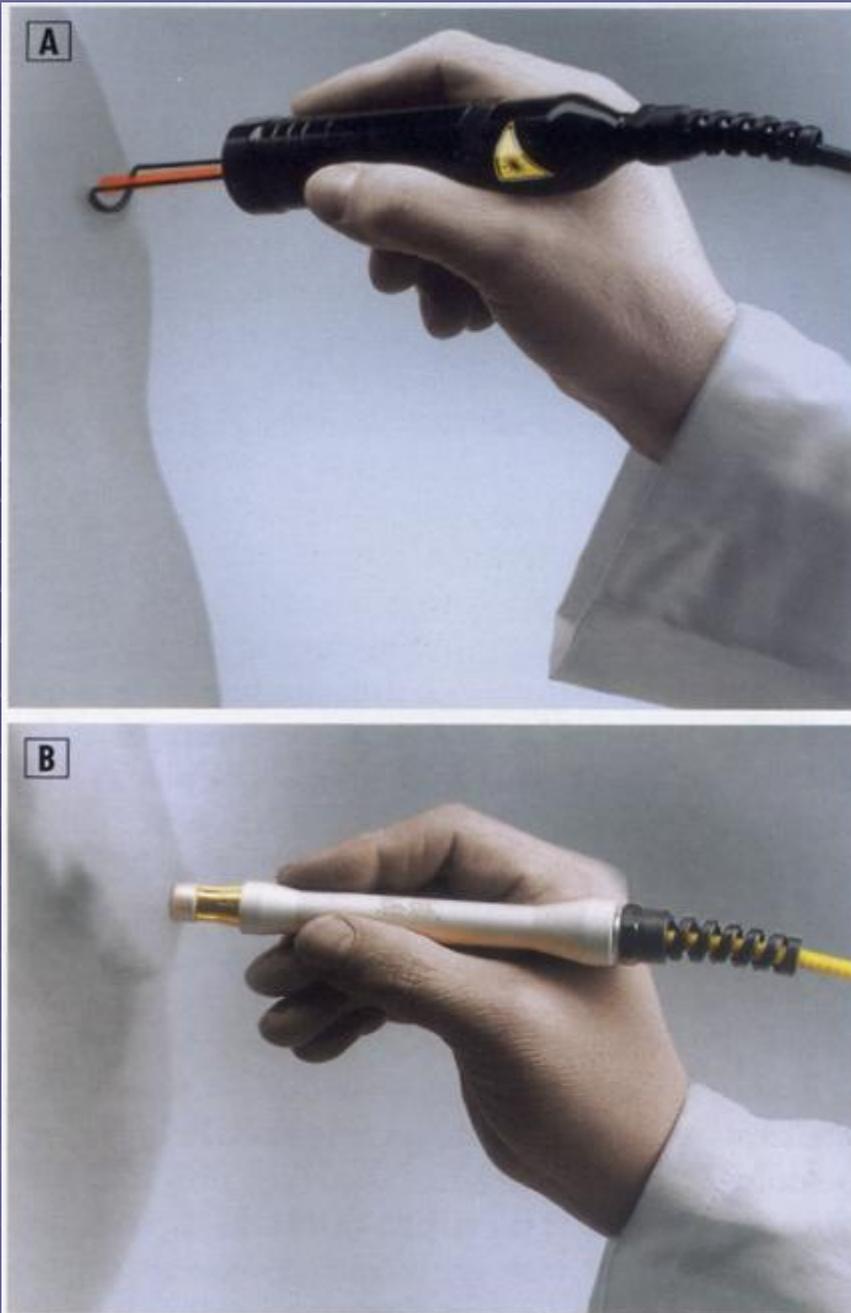


Fig. 7.19 A, B – A) Manipolo con spaziatore per trattamento analgesico;
B) Manipolo a contatto per il trattamento delle articolazioni.

Velocità di scansione

- Influisce sul rapporto fra l'energia trasmessa (eff. fotochimico) e l'energia assorbita (eff. fototermico).
- Con una scansione veloce (10 cm ogni 1,5s) si riscalda meno il tessuto, tipica della fase iniziale del trattamento.
- La scansione lenta (10 cm ogni 3 sec) favorisce il riscaldamento tissutale e l'iperemia ed è tipica delle fasi finali del trattamento.
- Negli stati flogistici sub-acuti si può arrivare anche a 10cm al secondo.

Schema terapeutico generale

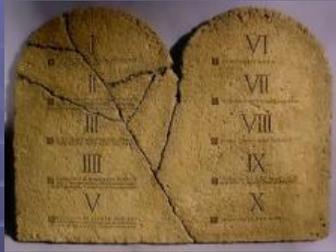
- Il trattamento si può dividere in 3 fasi.
- **FASE INIZIALE**: si saggia la termotolleranza del paziente con una scansione veloce a bassa fluenza (100-200 mJ/cm²). Se non ci sono problemi, si alza la fluenza fino alla soglia di tolleranza.
- **FASE INTERMEDIA**: il trattamento viene eseguito sui punti dolorosi, seguendo gli schemi proposti a seconda della patologia e/o del tipo di trattamento da eseguire.

Schema terapeutico generale

- **FASE FINALE:** dopo una pausa di 1-2 minuti, il trattamento si conclude con valori di fluenza simili a quelli iniziali, ma a scansione lenta.
- Per il computo dell'energia totale bisogna considerare tutte le fasi del trattamento.

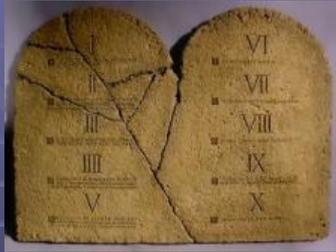
Tab. 7.XIV – Schema generale di un trattamento con laser Nd:YAG-Pw

FASE INIZIALE	FASE INTERMEDIA TERAPIA DEL DOLORE	FASE FINALE
SCANSIONE VELOCE	PER PUNTI FISSI	SCANSIONE LENTA



Regole per Nd:YAG

- 1. Eseguire sempre una corretta depilazione e pulizia della zona da trattare.
- 2. Non usare mai matite dermografiche per segnare la via d'accesso.
- 3. Valutare sempre la sensibilità termica della regione da trattare.
- 4. Utilizzare un gel refrigerato e trasparente ai 1064nm (alto contenuto d'acqua, senza coloranti) per fluenze fra 1.4-1.8 J/cm².
- 5. Mai usare fluenze oltre 1J/cm² per punti fissi.



Regole per Nd:YAG

- 6. In caso di pazienti di pelle scura non usare mai fluenze oltre $1\text{J}/\text{cm}^2$ e usare sempre il gel refrigerato.
- 7. In caso di intolleranza al calore laser, meglio ridurre la frequenza che la fluenza.
- 8. Seguire scrupolosamente le vie d'accesso ottiche consigliate per le articolazioni.
- 9. In caso di dubbio sulla morfologia articolare (malformazioni / obesità di alto grado), richiedere una ecografia articolare.



Nd:YAG – Controindicaz.



- MAI trattare la regione oculare e perioculare!!!
- Evitare il trattamento della regione auricolare.
- Non trattare i grossi vasi a manipolo fisso.
- Non trattare i grossi nervi superficiali (es. ulnare al gomito), per quanto possibile.
- Approccio progressivo alla fluenza desiderata.
- Considerare eventuali deficit di sensibilità.
- Non trattare regioni affette da neoplasie, l'utero gravido e le diatesi emorragiche.

Indicazioni terapeutiche

- Il Laser Neodimio:YAG in modalità pulsata è senza dubbio l'elettromedicale col maggior numero e complessità di indicazioni terapeutiche.
- Copre una vasta gamma di patologie ortopediche e non.
- Uso di tabelle di sintesi e illustrazioni per semplicità d'esposizione.

Tab. 7.XV – Fluenza, frequenza ed energia totale per il trattamento con laser Nd:YAG delle rachialgie, rispettivamente cervicali (Cer), dorsali (Dor) e lombari (Lom).

TRATTAMENTO DELLE RACHIALGIE DEGENERATIVE									
FASE	SOTTOFASE	FLUENZA mJ/cm ²			FREQUENZA Hz			MOD.	ENERG. TOT. J
		Cer	Dor	Lom	Cer	Dor	Lom		
INIZIALE	Step 1	360	510	710	20	30	30	Scansione veloce	Cer 1000
	Step 2	510	710 ÷ 1070	970 ÷ 1170	16	25 ÷ 20	25 ÷ 20		Dor 1500
	Step 3	360	1070 ÷ 1320	1320 ÷ 1530	20	20 ÷ 15	20 ÷ 15		Lom 1500 ÷ 2000
INTERMEDIA	Step 1	360	510	710	20	18	14	Punti, non più di 4-5 s/step	8 ÷ 12 J/step Max
	Step 2	510	710 ÷ 1070	970 ÷ 1170	16	14 ÷ 10	10		25 J/punto (cerv)
	Step 3	360	1070 ÷ 1320	1320 ÷ 1530	20	10	10		35 J/punto (dor-lom)
FINALE	Step 1	360	510	710	20	30	30	Scansione lenta	Cer 1000
	Step 2	510	710 ÷ 1070	970 ÷ 1170	15	25 ÷ 20	25 ÷ 20		Dor 1500
	Step 3	360	1070 ÷ 1320	1320 ÷ 1530	20	20 ÷ 15	20 ÷ 15		Lom 1500 ÷ 2000

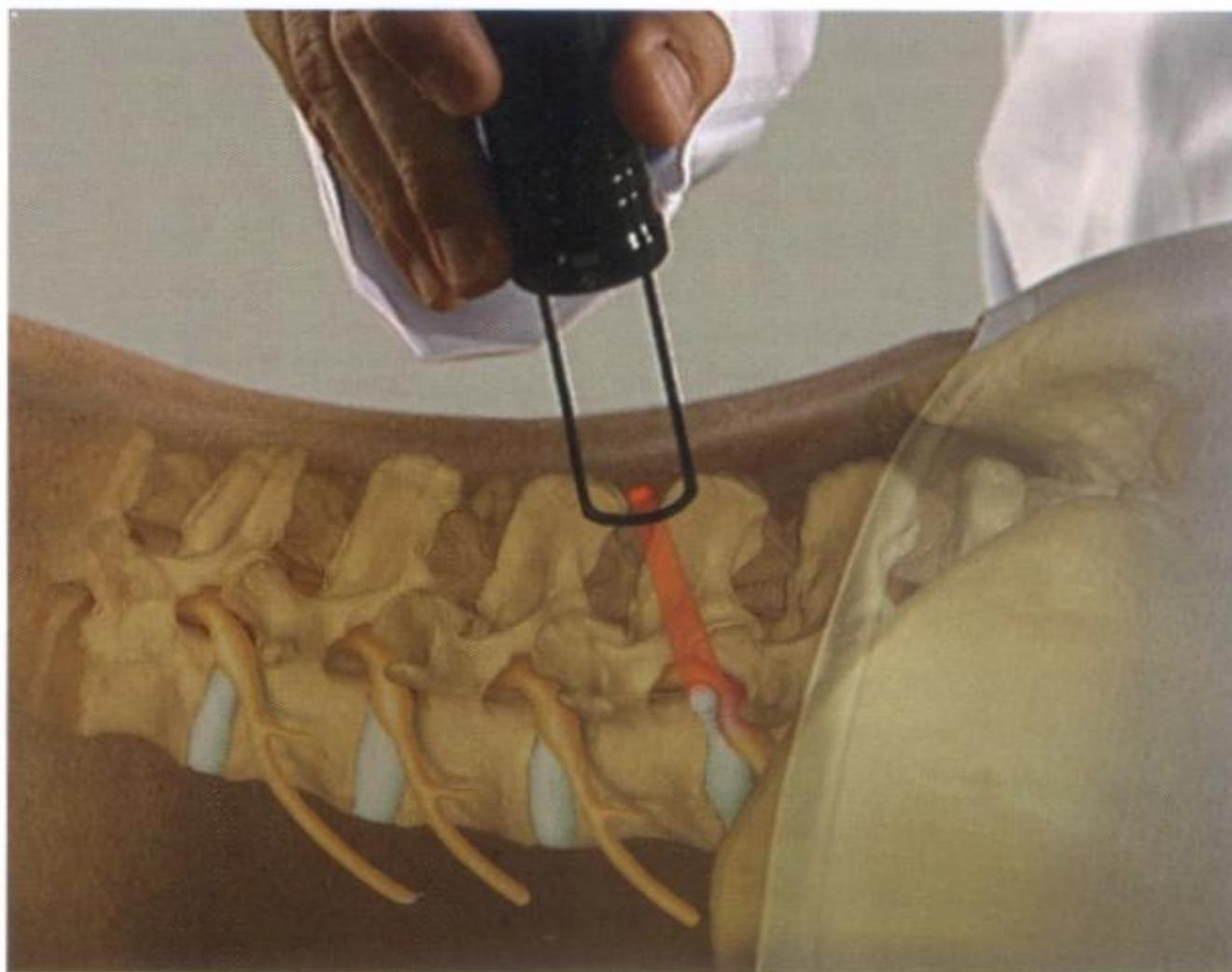


Fig. 7.20 – Trattamento della lombalgia su base discopatica-erniaria.

www.fisiokinesiterapia.biz

Tab. 7.XVI – Fluenza, frequenza ed energia totale per il trattamento con laser Nd:YAG PW delle principali patologie tendinee. Per il trattamento dei punti dolorosi si rimanda alla descrizione della fase intermedia della tabella dei TP.

PATOLOGIA TENDINEA	FLUENZA mJ/cm²	FREQUENZA Hz	ENERGIA TOTALE J	MODALITÀ
Cuffia dei rotatori spalla	810 ÷ 1530	25 ÷ 15	3000	1. Scansione iniziale veloce 2. Trattamento dei TP 3. Scansione finale lenta
Epicondilite gomito	510 ÷ 1430	25 ÷ 15	1500	
Tendinopatie polso/mano	510 ÷ 1320	20 ÷ 10	1500	
Periartrite dell'anca	1070 ÷ 1530	30 ÷ 15	2500 ÷ 3000	
Tendinopatie del ginocchio	1070 ÷ 1530	30 ÷ 15	2000 ÷ 3000	
Tendinopatie della caviglia	710 ÷ 1530	30 ÷ 10	2000 ÷ 3000	
Tendinopatia achillea	1070 ÷ 1780	30 ÷ 10	2000 ÷ 3000	
Fascite plantare	1070 ÷ 1780	30 ÷ 10	2000 ÷ 3000	

Tab. 7.XVII – Fluenza, frequenza ed energia totale per il trattamento con laser Nd:YAG PW dei traumi muscolari. Il trattamento in fase acuta e cronica è solo a scopo analgesico. Per il trattamento dei TP si rimanda alla descrizione della fase intermedia della tabella dei TP.

CONTUSIONI E LESIONI MUSCOLARI				
Fase acuta	Trattamento per punti algogeni (TP)			
Fase sub-acuta	FLUENZA mJ/cm ²	FREQ. Hz	ENERGIA TOTALE J	MODALITÀ
	970 ÷ 1530	30 ÷ 15	2000 ÷ 3000	1. Scansione iniziale veloce 2. Trattamento dei TP 3. Scansione finale lenta
Fase cronica	Trattamento per punti algogeni (TP)			

Tab. 7.XVIII – Fluenza, frequenza ed energia totale per il trattamento con laser Nd:YAG PW delle contratture muscolari. Il trattamento è indicato sia in fase acuta che sub-acuta. Per il trattamento dei TP si rimanda alla descrizione della fase intermedia della tabella dei TP.

CONTRATTURE MUSCOLARI				
FASE	FLUENZA mJ/cm ²	FREQ. Hz	ENERGIA TOTALE J	MODALITÀ
Acuta e sub-acuta	610 ÷ 1070	30 ÷ 15	2000 ÷ 4000	1. Scansione iniziale veloce 2. Trattamento dei TP 3. Scansione finale lenta

TRATTAMENTO ANALGESICO DEI *TRIGGER POINTS*

FASE	SOTTOFASE	FLUENZA mJ/cm ²	FREQ. Hz	MODALITÀ	ENERGIA TOTALE J
INIZIALE	Step 1	510	25	Scansione veloce	200 ÷ 300
	Step 2	610	25 ÷ 20		
	Step 3	710	25 ÷ 20		
INTERMEDIA	Step 1	360	17	Punti non più di 7 s/step	8 ÷ 10 J / step, max 30 J per ogni Tr P
	Step 2	510	15		
	Step 3	610	12		
FINALE	Step 1	510	25	Scansione lenta	200 ÷ 300
	Step 2	610	25 ÷ 20		
	Step 3	710	25 ÷ 20		

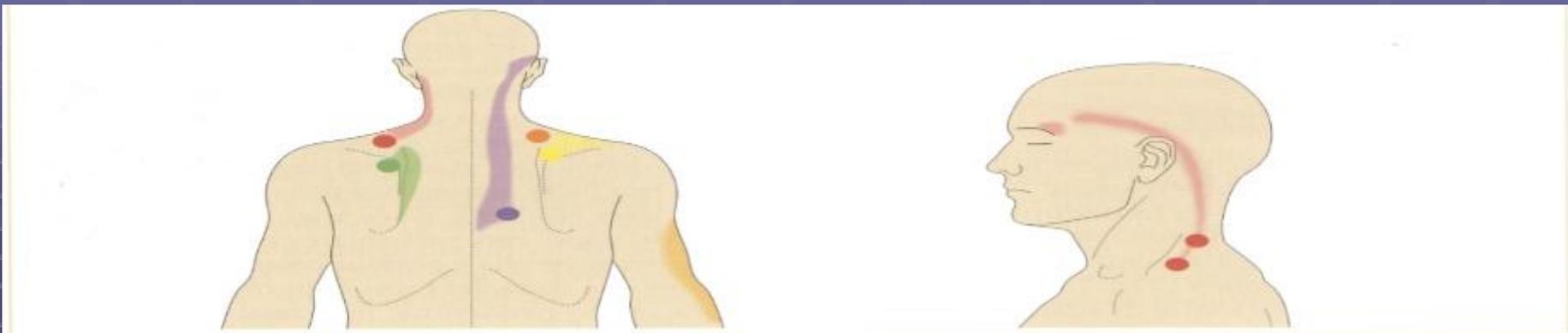


Fig. 7.21 — *Trigger points del m. trapezio.*

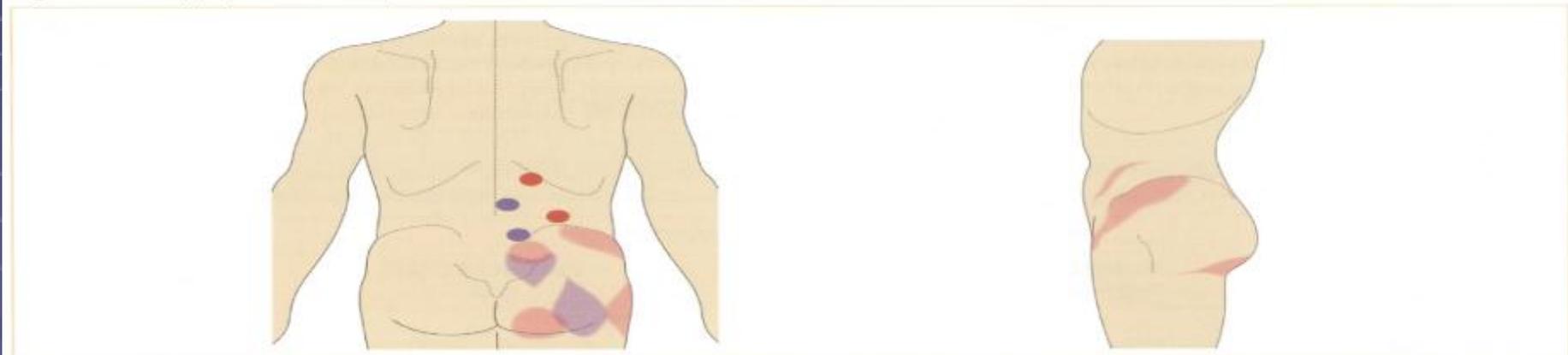


Fig. 7.22 — *Trigger points del m. quadrato dei lombi.*

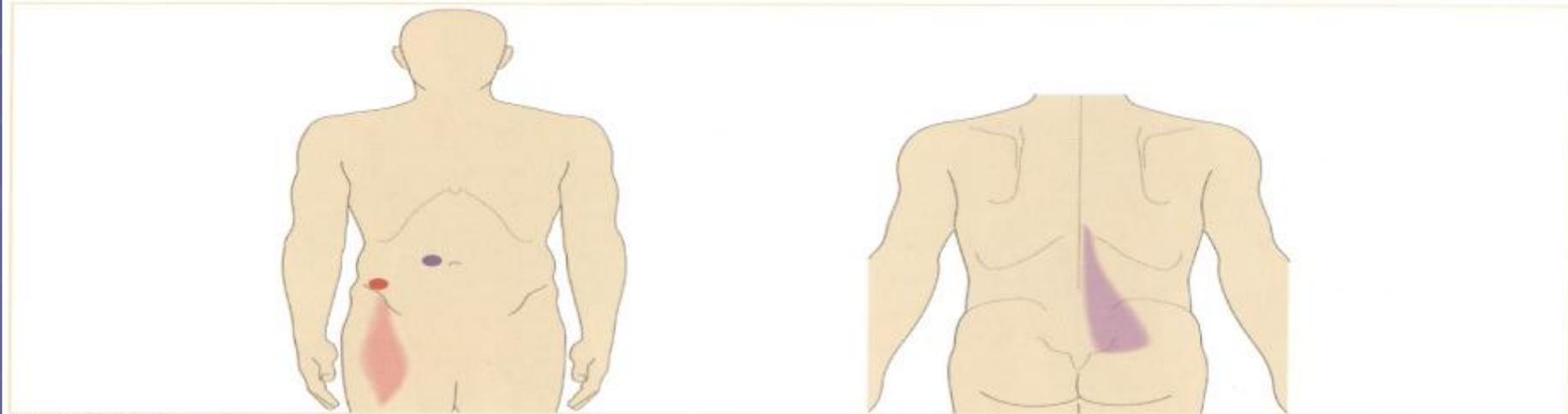


Fig. 7.23 — *Trigger points del m. ileo-psoas.*

Tab. 7.XX – Parametri consigliati per i *tender points* (TP) in relazione alla profondità. TP SUP e TP PR, rispettivamente indicano: *tender point* superficiale e *tender point* profondo.

TRATTAMENTO ANALGESICO DEI <i>TENDER POINTS</i>							
FASE	SOTTOFASE	FLUENZA mJ /cm ²		FREQUENZA Hz		MODALITÀ	ENERGIA TOTALE J
		TP SUP	TP PR	TP SUP	TP PR		
INIZIALE	Step 1	510	610	30	25	Scansione veloce	200 ÷ 300
	Step 2	610	710	25	20		
	Step 3	710	810	20	18		
INTERMEDIA	Step 1	510	610	15	12	Punti, non più di 7 s / step	9 ÷ 10 J / step max 30 J per T P
	Step 2	610	710	12	10		
	Step 3	710	810	10	10		
FINALE	Step 1	510	610	30	25	Scansione lenta	200 ÷ 300
	Step 2	610	710	25	20		
	Step 3	710	810	20	18		

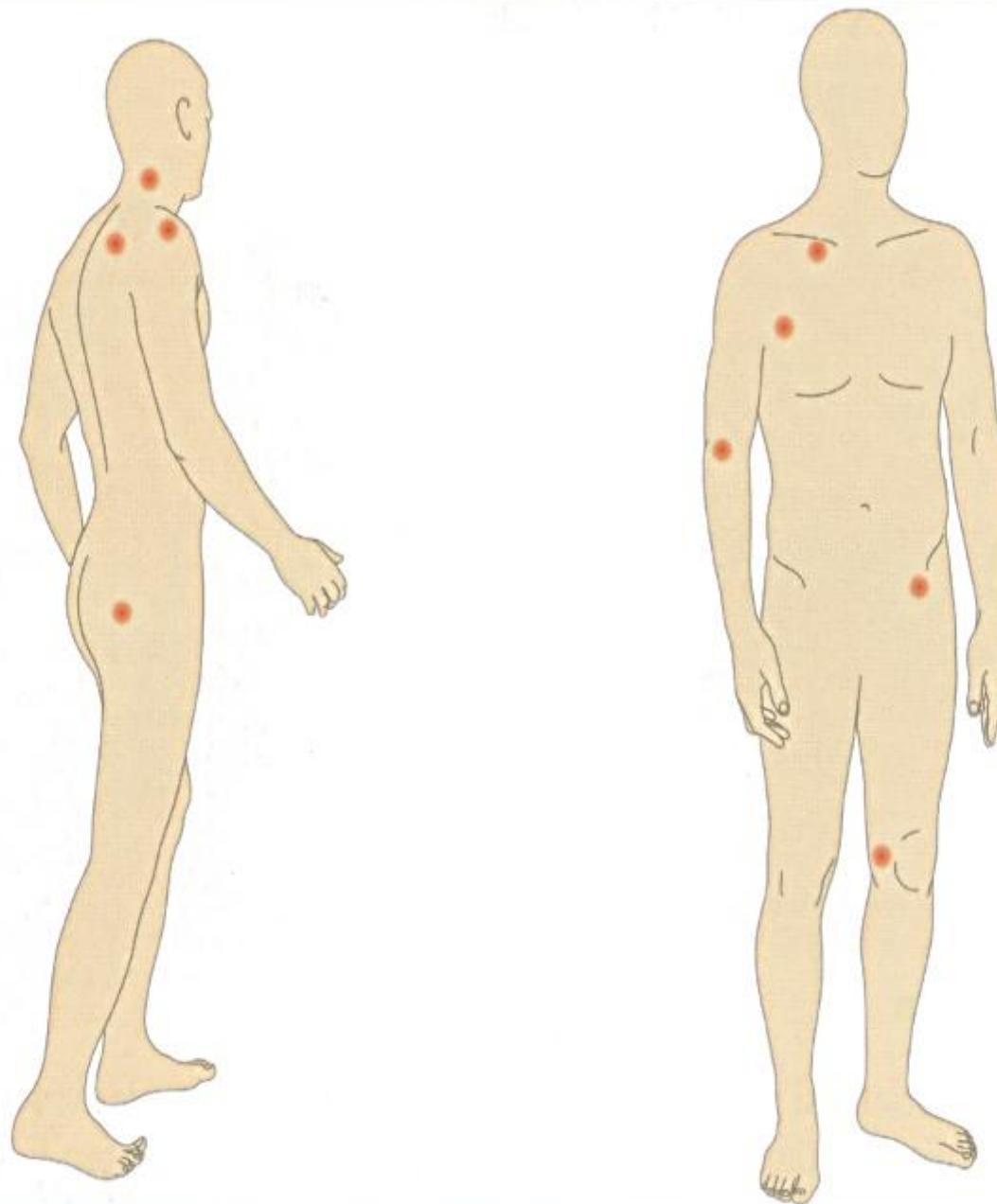


Fig. 7.24 – Mappa dei 18 *Tender Points* dell'American College of Rheumatology (sono indicati solo i TP del lato destro del corpo).

Tab. 7.XXI – Parametri consigliati per la laserterapia condotta secondo i punti dell'agopuntura. Sono stati descritti tre livelli di profondità: superficiale medio e profondo.

TRATTAMENTO ANALGESICO SECONDO I PUNTI DELL'AGOPUNTURA										
FASE	PROFONDITÀ A-P	CUN	Cm	FLUENZA mJ /cm ²	FREQ. Hz	TEMPO s	MODALITÀ	ENERGIA TOT. J		
INIZIALE	Superficiale	<1,25	<1,8	510 ÷ 1070	20		Scansione veloce	200 ÷ 300		
	Medio	1,5 ÷ 2,25	2,25 ÷ 3,75	1170 ÷ 1530	12					
	Profondo	2,5 ÷ >3	3,75 ÷ >4,5	1630 ÷ 1780	10					
INTERMEDIA	Superficiale	0,1	0,15	510	25	10 secondi	Per punti, scansione circolare	Max 30 J		
		0,25	0,37	610	20					
		0,5	0,75	710	20					
		0,75	1,12	810	18					
		1,0	1,5	970	15					
		1,25	1,8	1070	14					
	Medio	1,5	2,25	1170	12			Max 30 J		
		1,75	2,6	1320	10					
		2,0	3,0	1430	10					
		2,25	3,37	1530	10					
		Profondo	2,5	3,75	1630				10	Max 35 J
			>3	>4,5	1780				10	
FINALE	Superficiale	<1,25	<1,8	510 ÷ 1070	20		Scansione lenta	200 ÷ 300		
	Medio	1,5 ÷ 2,25	2,25 ÷ 3,75	1170 ÷ 1530	12					
	Profondo	2,5 ÷ >3	3,75 ÷ >4,5	1630 ÷ 1780	10					

SCHEMI AGOPUNTURA PER ALCUNE PATOLOGIE

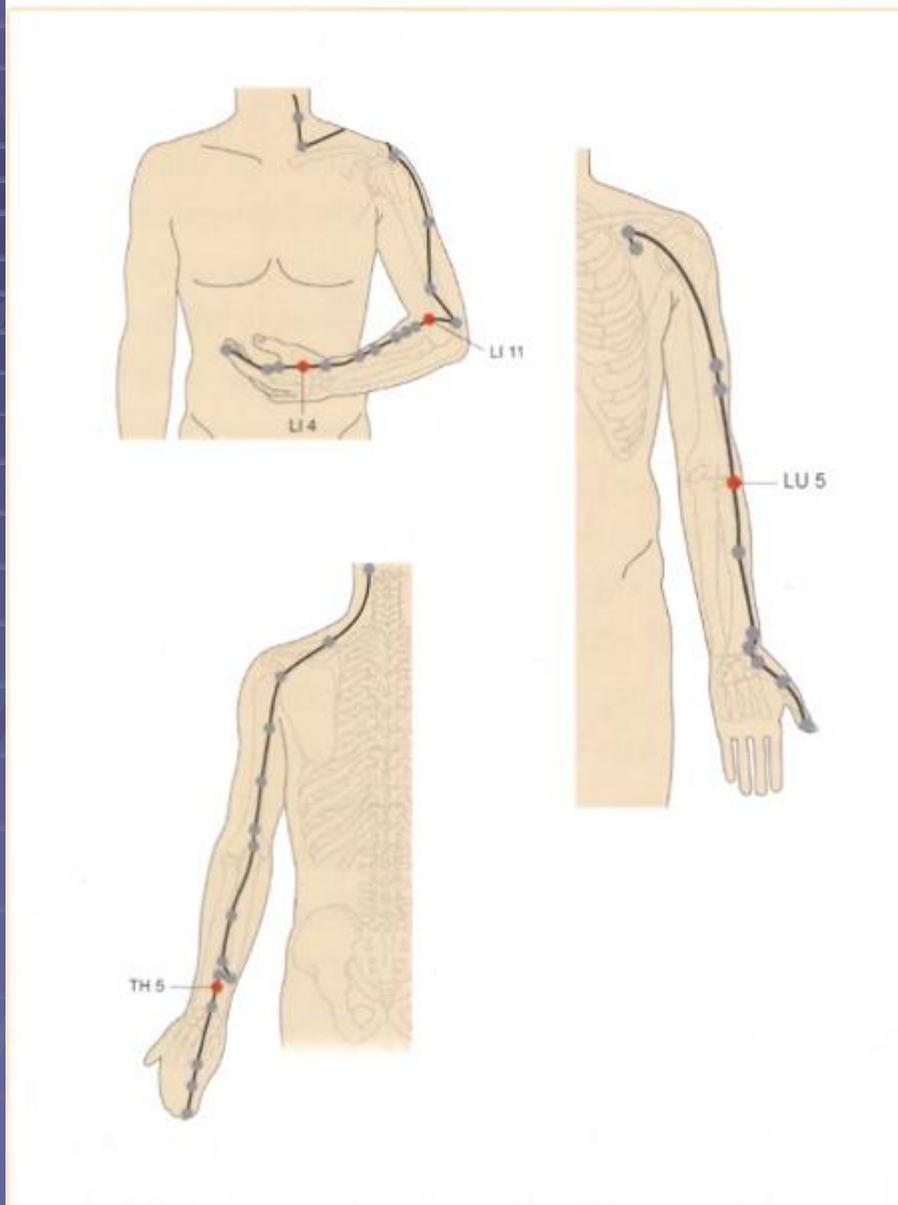


Fig. 7.25 – Punti di agopuntura per il trattamento del gomito doloroso.

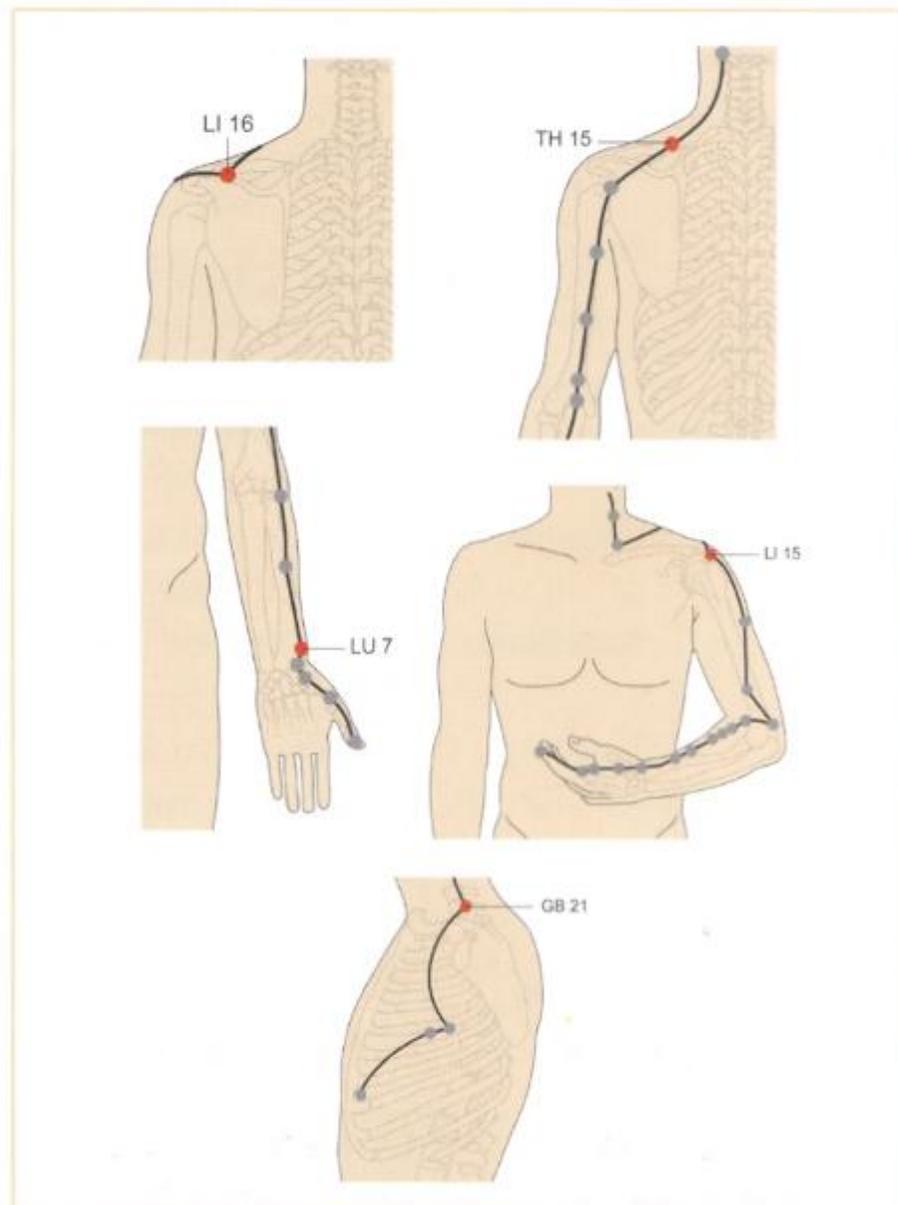


Fig. 7.26 – Punti di agopuntura per il trattamento della spalla dolorosa.



Fig. 7.27 – Punti di agopuntura per il trattamento della gonalgia.

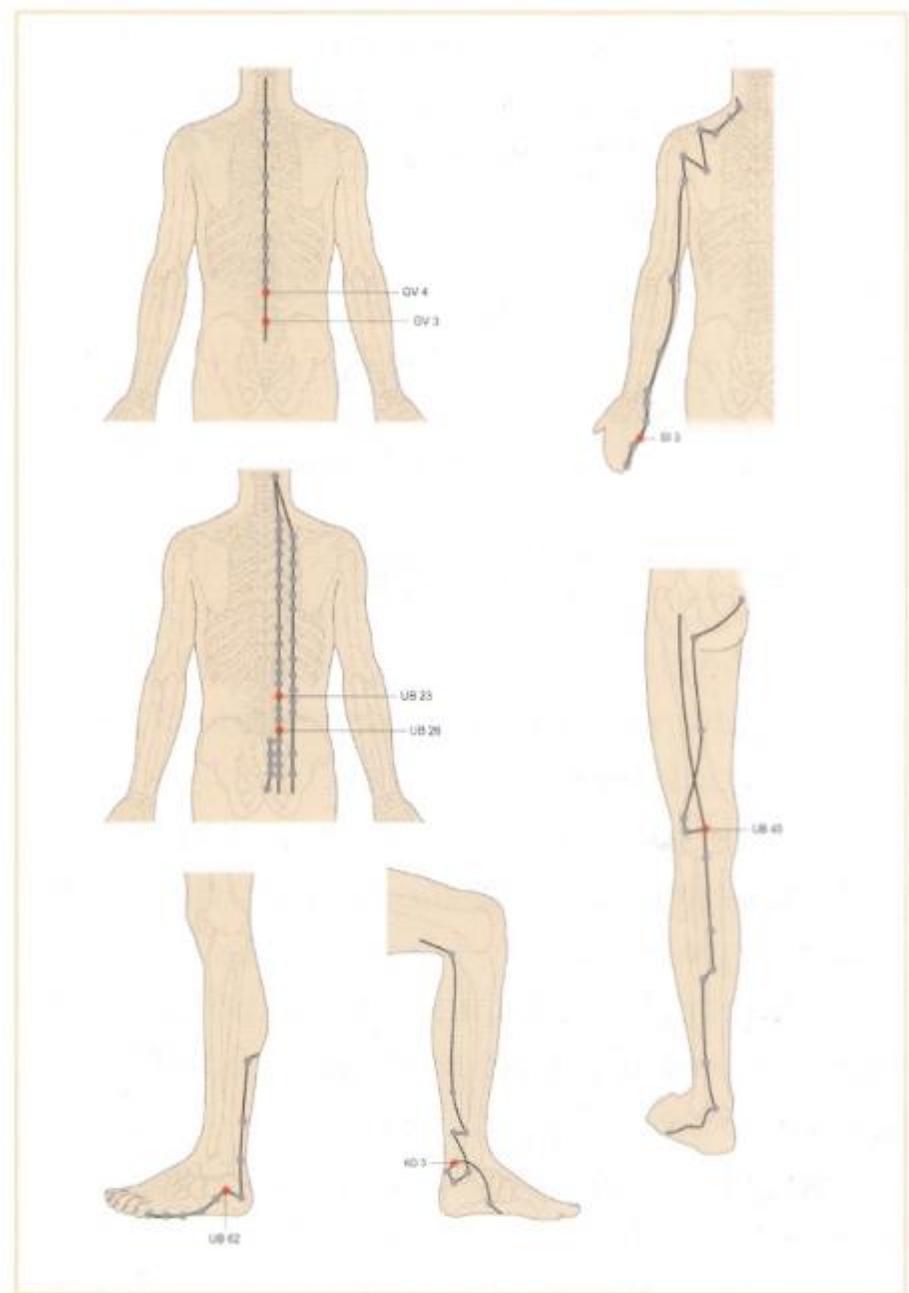


Fig. 7.28 – Punti di agopuntura per il trattamento della lombalgia.

Tab. 7.XXII – Fluenza, frequenza ed energia totale per il trattamento con laser Nd:YAG delle principali articolazioni affette da artrosi.

LESIONI CARTILAGINEE	FLUENZA mJ/cm ²	FREQ. Hz	ENERGIA TOTALE J	MODALITÀ
Spalla: a. gleno-omeroale	1170 ÷ 1780	20 ÷ 30	2000 ÷ 3000	Scansione veloce
Spalla: capo lungo bicipite	810 ÷ 1430		1000 ÷ 2000	
Gomito	510 ÷ 1170		1500 ÷ 2000	
Mano: a. radio carpica	510 ÷ 1170		1000 ÷ 2000	
Mano: a. trapezio-metacarpale	510 ÷ 970		1000 ÷ 1500	
Anca	1430 ÷ 1780		3000 ÷ 4000	
Ginocchio: a. femoro-tibiale	1430 ÷ 1780		3000 ÷ 4000	
Ginocchio: a. femoro-rotulea	1170 ÷ 1530		1000 ÷ 2000	
Piede: a. tibio-tarsica	1070 ÷ 1780		2000 ÷ 3000	
Piede: a. sottoastraglica	1430 ÷ 1780		2000 ÷ 3000	
Piede: a. metatarso-falangee	710 ÷ 1070		1000 ÷ 1500	

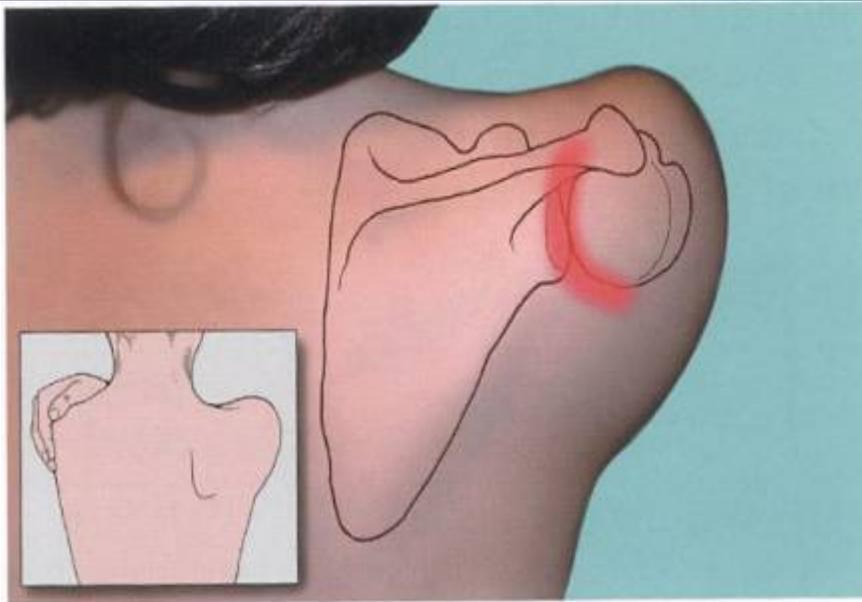


Fig. 7.29 – Spalla: via gleno-omerale.

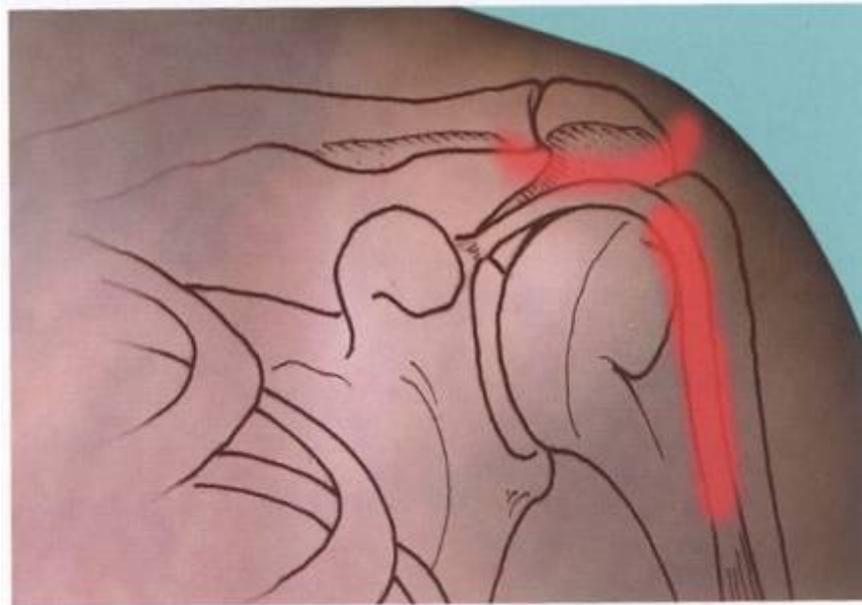


Fig. 7.30 – Spalla: via sub-acromiale e per il capo lungo del bicipite.

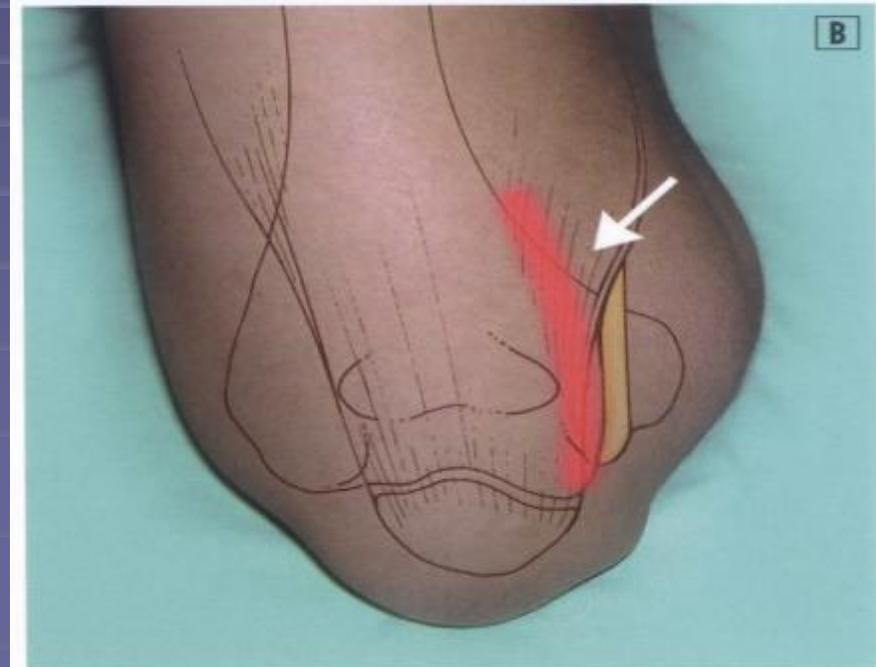
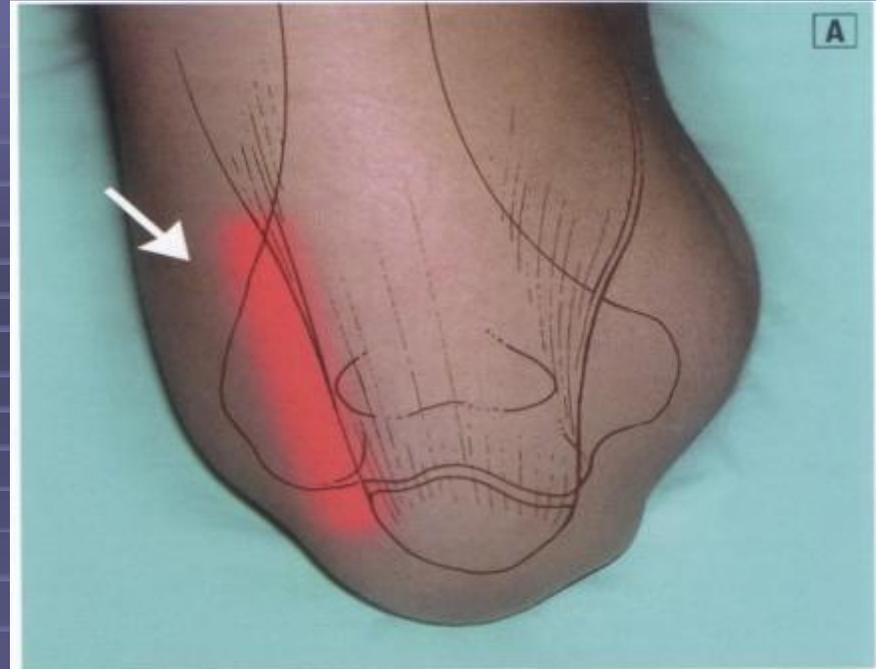


Fig. 7.32 A, B – Gomito: A) via postero-laterale; B) via postero-mediale.

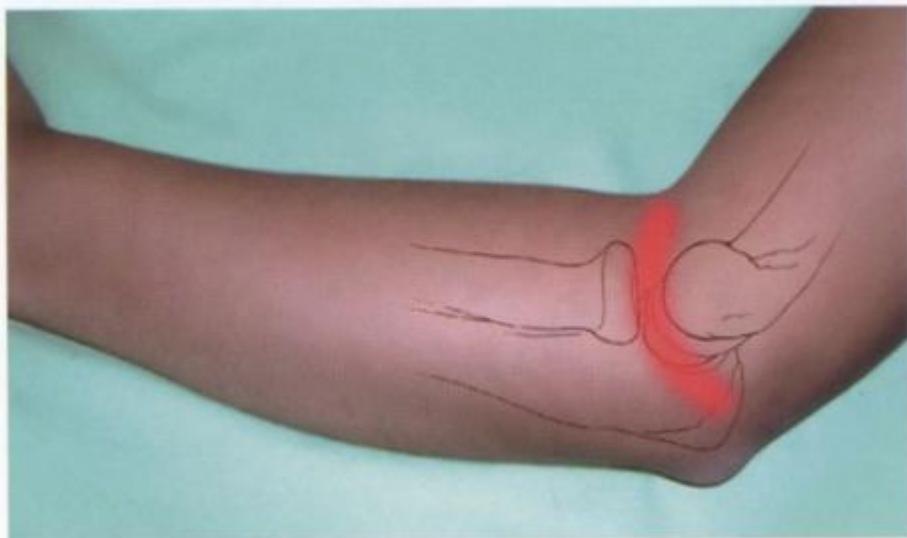


Fig. 7.31 – Gomito: via ottica laterale.

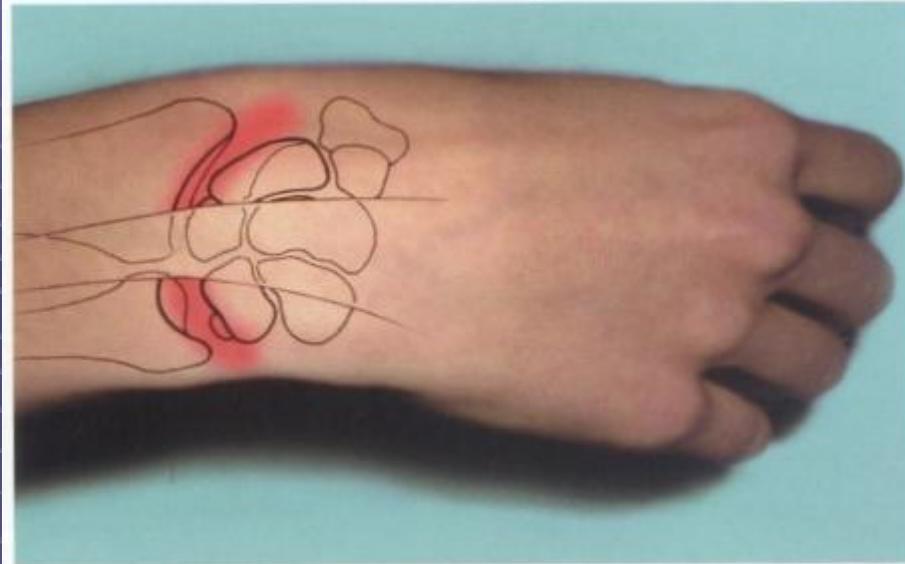


Fig. 7.33 – Polso: via ottica dorsale all'articolazione radio-carpica.

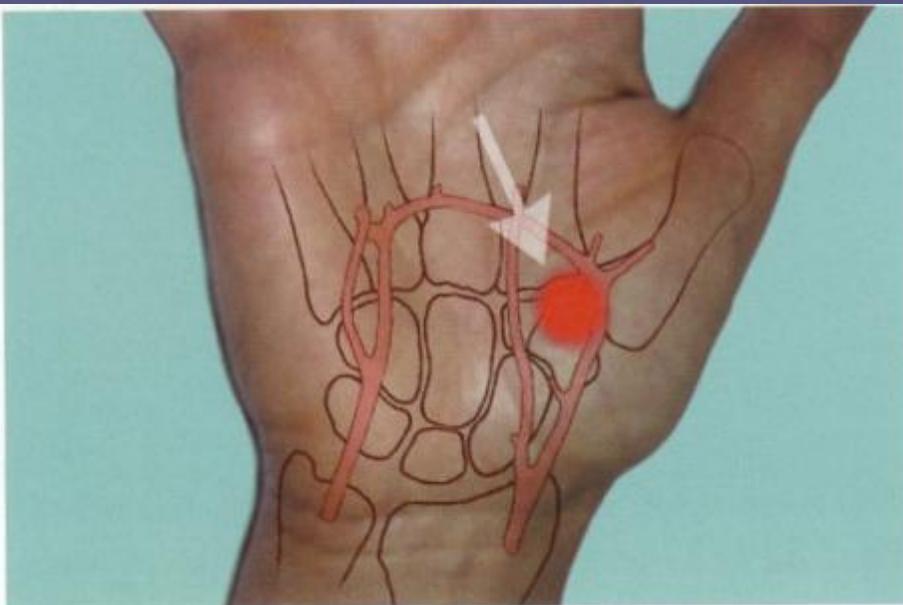


Fig. 7.34 – Articolazione trapezio-metacarpale: via volare.

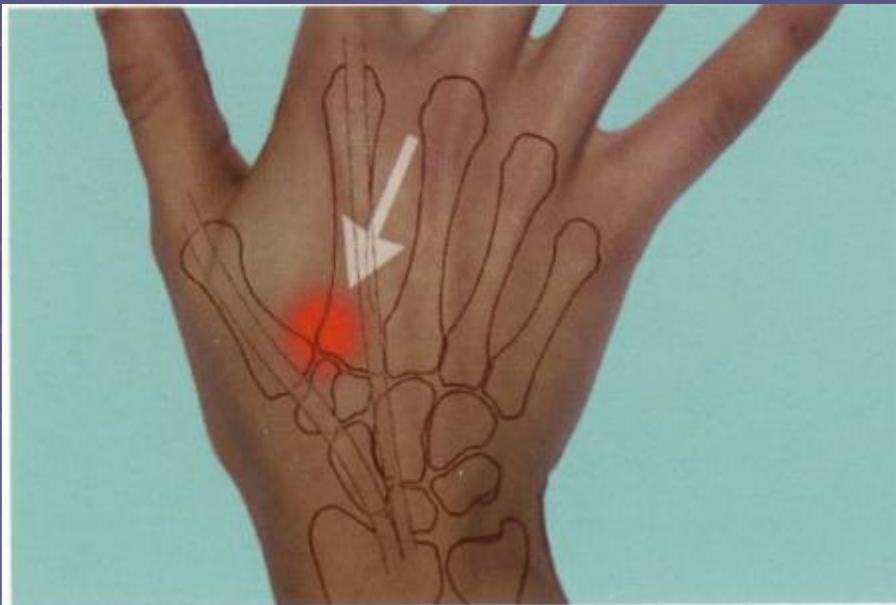


Fig. 7.35 – Articolazione trapezio-metacarpale: via dorsale.

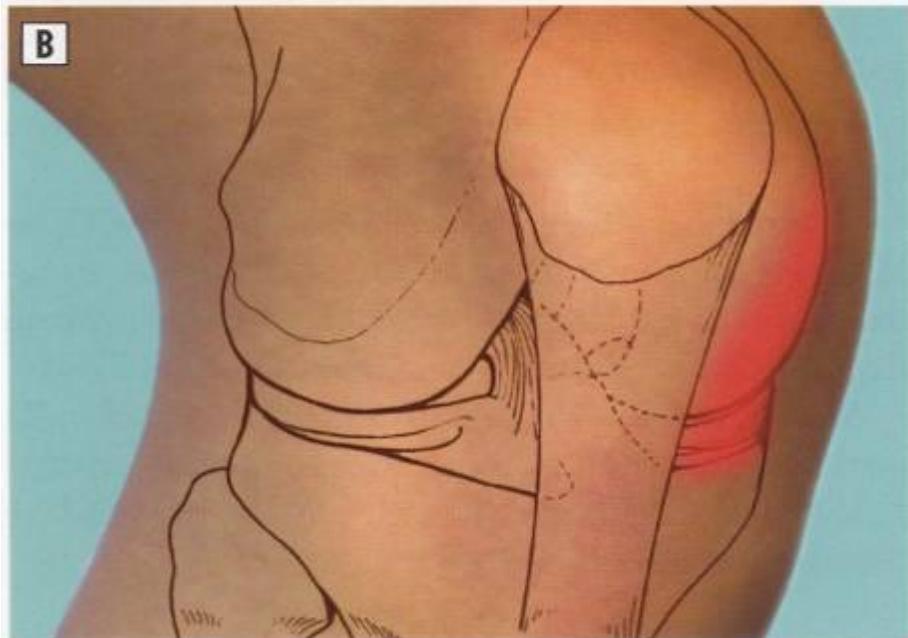
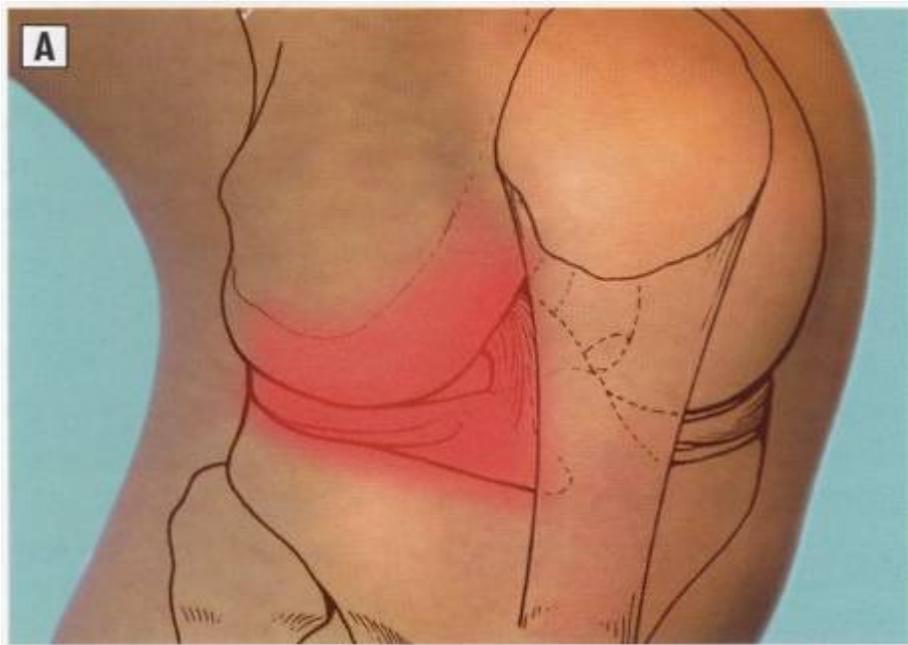


Fig. 7.37 A, B – Articolazione femoro tibiale: A) via anterolaterale; B) via anteromediale.

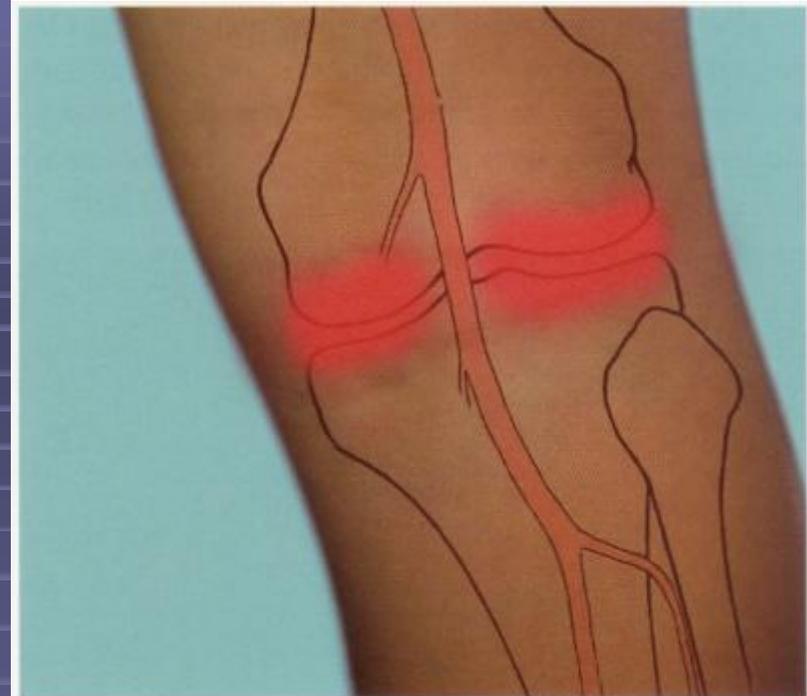


Fig. 7.38 – Articolazione femoro tibiale, via posteriore.

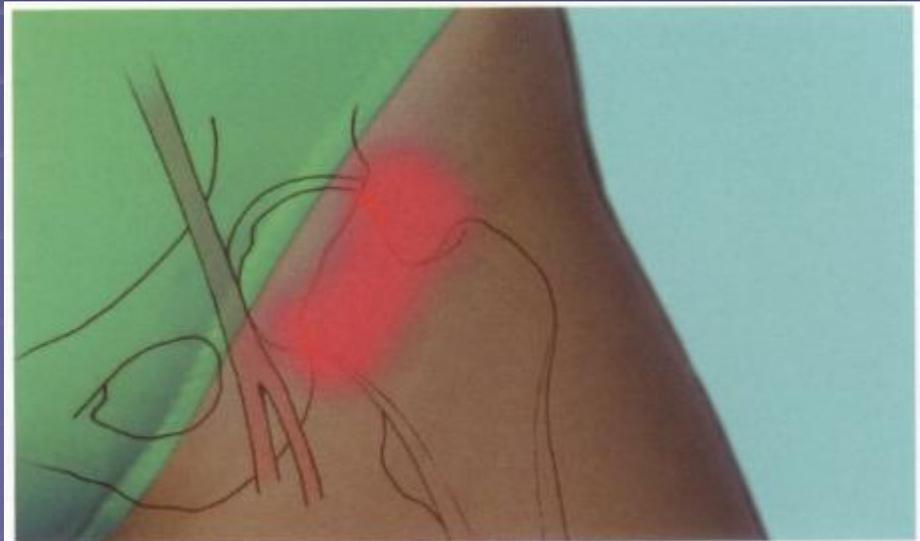


Fig. 7.36 – Articolazione coxofemorale: accesso anteriore.

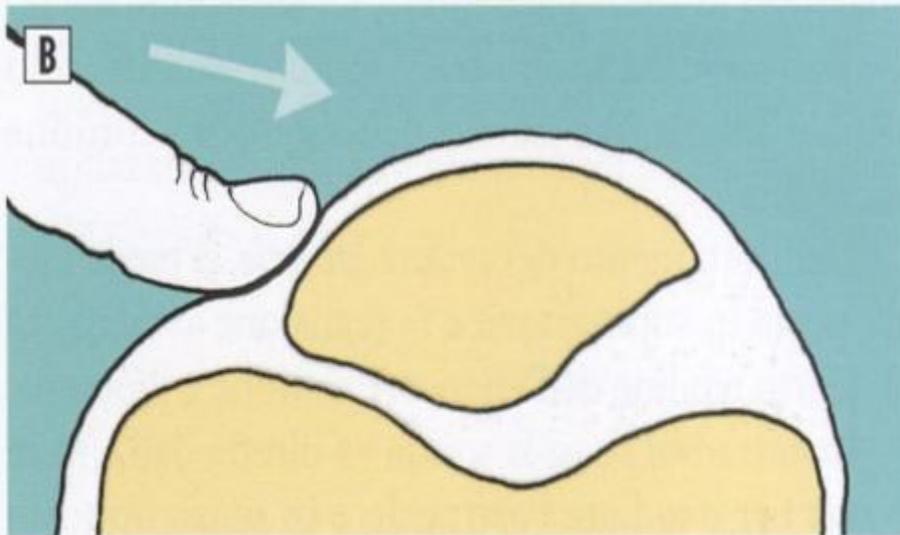


Fig. 7.39 A, B – Articolazione femoro rotulea: A) via anteromediale; B) ampliamento della finestra ottica mediante basculamento della rotula.



Fig. 7.40 A, B – Articolazione femoro rotulea: A) via anterolaterale; B) ampliamento della finestra ottica mediante basculamento della rotula.

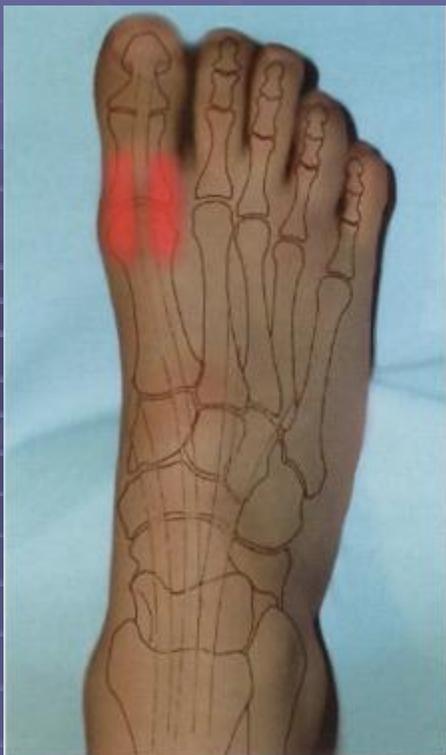


Fig. 7.44 – Articolazione 1° metatarso-falangea: via dorsale.

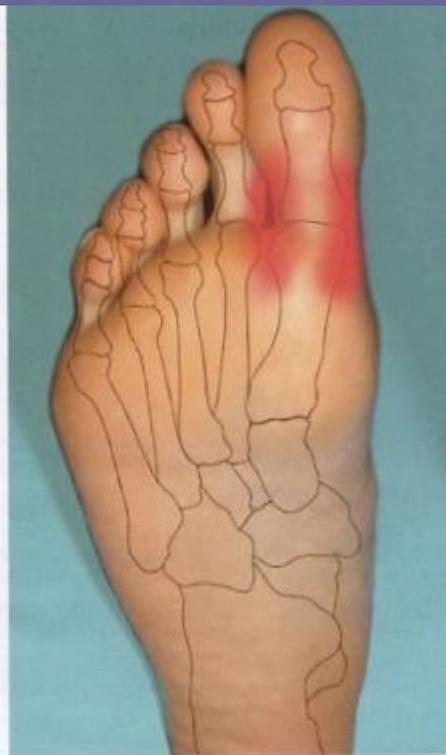


Fig. 7.45 – Articolazione 1° metatarsofalangea: via plantare.

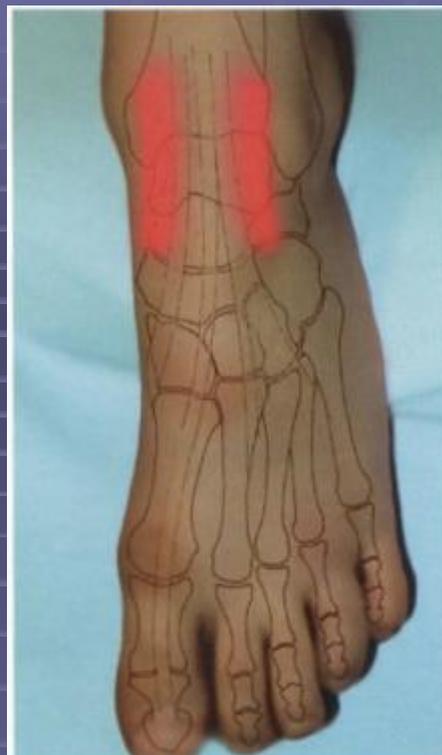


Fig. 7.41 – Articolazione tibio-tarsica: via anteriore, mediale e laterale.



Fig. 7.42 – Articolazione tibio-tarsica: via postero-laterale.



Fig. 7.43 – Articolazione sottoastragolica: via laterale.

