UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Fisioterapia

EFFICACIA DELLA LASERTERAPIA CON CONTROLLO TERMICO IN UNA POPOLAZIONE CON PATOLOGIA MUSCOLOSCHELETRICA STUDIO PILOTA

Relatore:

Dott.ssa Giovanna Censi

Correlatore:

Dott.ssa Silvia Rossi

Tesi di Laurea di:

Andrea Benedetti

A.A. 2021/2022

INDICE

1. SCOPO DELLA TESI 1
2. GENERALITÀ 3
   2.1. LASERTERAPIA 3
      2.1.1. STORIA 3
      2.1.2. COS'È IL LASER 4
      2.1.3. APPLICAZIONI PRATICHE 4
      2.1.4. CLASSIFICAZIONE 6
      2.1.5. INTERAZIONE CON I TESSUTI 7
      2.1.6. CITOCROMO-C OSSIDASI 9
      2.1.7. EFFETTI CHIMICI PRODOTTI 11
      2.1.8. EFFETTI FISICI E BIOLOGICI PRODOTTI 13
      2.1.9. MODALITÀ DI EMISSIONE DELLA LUCE 15
      2.1.10. CONTROLLO TERMICO 15
      2.1.11. CONTROINDICAZIONI 16
      2.1.12. TERAPIA LASER AD ALTA ENERGIA 16
   2.2. PATOLOGIE MUSCOLO-SCHELETRICHE 18
      2.2.1. CLASSIFICAZIONE 18
      2.2.2. SINTOMI 18
      2.2.3. IMPLICAZIONI SOCIALI ED ECONOMICHE 19
3. MATERIALI E METODI UTILIZZATI NELLO STUDIO 20
   3.1. POPOLAZIONE IN STUDIO 20
   3.2. CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE 20
   3.3. INDICATORI DI RISULTATO E MISURE DI OUTCOME 21
      3.3.1. NRS 22
      3.3.2. DASH 22
      3.3.3. SF36 23
   3.4. SETTING E TIMING 24
   3.5. TRATTAMENTO E MACCHINARIO UTILIZZATO 24
4. RISULTATI 27
   4.1. DOLORE 27
   4.2. FUNZIONALITÀ 32
   4.3. QUALITÀ DELLA VITA 34

5. DISCUSSIONE 42
6. CONCLUSIONI 47
7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 49
8. RINGRAZIAMENTI 53

1. SCOPO DELLA TESI

L'obiettivo di questo studio è **verificare l'efficacia della THEAL therapy**: una laserterapia che eroga contemporaneamente lunghezze d'onda da 650, 810 e 1064 nanometri e con controllo termico **nel migliorare il dolore e la disabilità** in pazienti con disordini muscoloscheletrici.

Fino ad ora sono numerose le pubblicazioni che provano l'efficacia della laserterapia nel migliorare condizioni infiammatorie, di dolore o nel rigenerare tessuto nervoso periferico. Tutte queste evidenze scientifiche, però, sono state conseguite utilizzando ed analizzando una sola lunghezza d'onda alla volta. Nello specifico sono state considerate a fondo la lunghezza d'onda da 650 nm[1] [2] e quella da 810 nm[3] [4] [5].

Esistono in verità anche due studi in cui vengono usate insieme tre lunghezze d'onda, in uno quelle da 810, 980 e 1064 nm[6] e nell'altro da 650, 810 e 1064 nm[7], ma entrambi riguardano esclusivamente il trattamento di low back pain.

---

[1] Al-Shammari AM, Syhood Y, Al-Khafaji AS. Use of low-power He-Ne laser therapy to accelerate regeneration processes of injured sciatic nerve in rabbit. Egypt J Neurol Psychiatr Neurosurg. 2019;55(1):1.

[2] Torres-Silva R, Lopes-Martins RA, Bjordal JM, Frigo L, Rahouadj R, Arnold G, Leal-Junior EC, Magdalou J, Pallotta R, Marcos RL. The low level laser therapy (LLLT) operating in 660 nm reduce gene expression of inflammatory mediators in the experimental model of collagenase-induced rat tendinitis. Lasers Med Sci. 2015 Sep;30(7):1985-90.

[3] Khalighi HR, Mortazavi H, Mojahedi SM, Azari-Marhabi S, Moradi Abbasabadi F. Low Level Laser Therapy Versus Pharmacotherapy in Improving Myofascial Pain Disorder Syndrome. J Lasers Med Sci. 2016 Winter;7(1):45-50.

[4] Assis L, Moretti AI, Abrahão TB, de Souza HP, Hamblin MR, Parizotto NA. Low-level laser therapy (808 nm) contributes to muscle regeneration and prevents fibrosis in rat tibialis anterior muscle after cryolesion. Lasers Med Sci. 2013 May;28(3):947-55.

[5] Liu, X, Cheng, L, Song J. Effects of Low-Level Laser Therapy and Eccentric Exercises in the Treatment of Patellar Tendinopathy. International Journal of Photoenergy, 2014

[6] Osti R, Pari C, Salvatori G, Massari L. Tri-length laser therapy associated to tecar therapy in the treatment of low-back pain in adults: a preliminary report of a prospective case series. Lasers Med Sci. 2015 Jan;30(1):407-12.

[7] Notarnicola A, Solarino G, Covelli I, Rifino F, Moretti B. Temperature Controlled High Energy Adjustable Multi-Mode Emission Laser Therapy in the Treatment of the Chronic Low Back Pain. Am J Arthritis Res. 2018; 2(1): 1010.

In questo studio, le tre lunghezze d'onda più studiate fino ad ora, ovvero 650, 810 e 1064 nm, vengono erogate in contemporanea, mixandole in percentuali diverse in base all'effetto che si vuole ottenere, proprio come i due studi citati in precedenza, ma il trattamento riguarda diversi tipi di problematiche muscoloscheletriche. Tutto ciò è possibile grazie ad un innovativo macchinario che, tramite la sua tecnologia, è in grado di fornire al fisioterapista una vasta gamma di effetti da usare sul paziente in base alla condizione di quest'ultimo ed alla priorità su cui lavorare in quella determinata fase della patologia.

Questo tipo di soluzione risulta determinante in quanto permette di eseguire un trattamento personalizzato, che è in grado di seguire la traccia dettata dai protocolli ma in maniera fluida e variabile, anche in base ai cambiamenti clinici della persona.

Figura 1 - Laser iLux XP theal therapy 16 W, Mectronic Medicale, Italia. Immagine presa da https://www.mectronicmedicale.com/it/healthcare/devices/ilux-xp

2. GENERALITÀ

2.1.LASERTERAPIA

La laserterapia è un tipo di terapia strumentale che può essere utilizzata in fisioterapia per il trattamento di patologie muscolo-scheletriche.

2.1.1. STORIA

La storia del laser inizia nel 1916 con Albert Einstein che formulò le prime basi teoriche, in particolare analizzò l'effetto della radiazione incentrato su emissione stimolata o assorbimento negativo.

Successivamente nel 1950 Charles Hard Townes elaborò il primo dispositivo funzionante che sfruttava le teorie di Einstein e lo chiamò MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Poi nel 1960 Theodor Harold Maiman, con lo scopo di estendere i principi del MASER al campo degli infrarossi e della luce visibile, completò il primo laser che era a rubino ed impulsi.

Da qui in poi la ricerca ha scoperto nuove fonti laser e progressivamente sono state migliorate tutte le caratteristiche esistenti per quanto riguarda questo tipo di tecnologia.

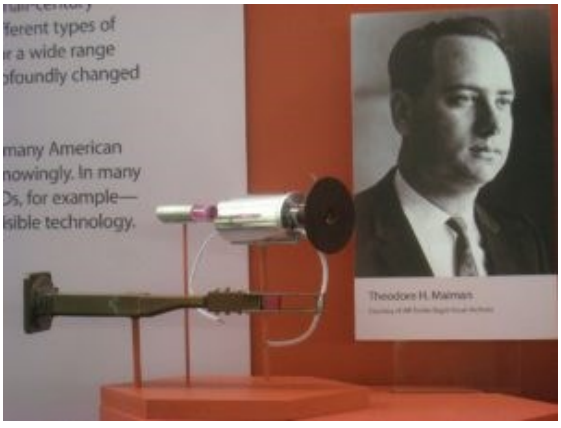


Figura 2 - Theodor Maiman ed il primo laser a rubino. Immagine presa da http://www.laserbrewer.com/laser-a-rubino/

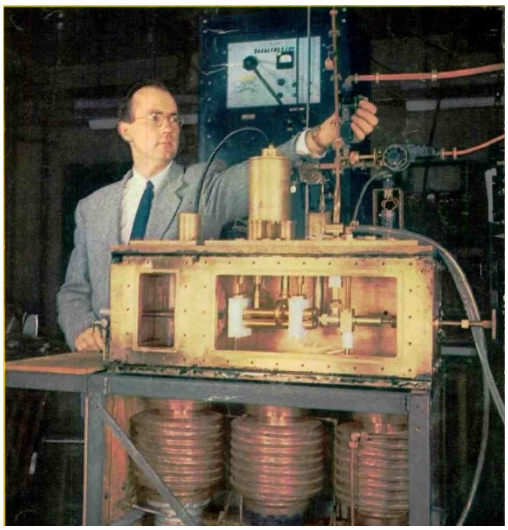


Figura 3 - Charles Townes con il suo maser (1953). Di Dan Rubin - Retrieved February 18, 2015 from Radio-Electronic Engineering magazine, Ziff-Davis Publishing Co., New York, Vol. 26, No. 6, June 1955, cover on http://www.americanradiohistory.com, Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curi

2.1.2. COS'È IL LASER

La parola LASER è un acronimo che sta per Amplificazione di Luce mediante Emissione Stimolata di Radiazione (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation).

Il laser è una radiazione elettromagnetica che può essere paragonata alla luce solare, ma ha alcune caratteristiche peculiari, ovvero monocromaticità, coerenza e direzionalità.

2.1.3. APPLICAZIONI PRATICHE

È proprio grazie a queste caratteristiche se è possibile trovare il laser in tantissime applicazioni differenti: puntatori, lettori ottici come lettori CD, DVD e Blu-ray, metri in ambito edilizio, rilevatori di velocità, in chirurgia, in oftalmologia, in dermatologia anche estetica, in ambito paradontale ad esempio per stati infiammatori, in ambito siderurgico per tagliare ma anche incidere o marchiare metalli.

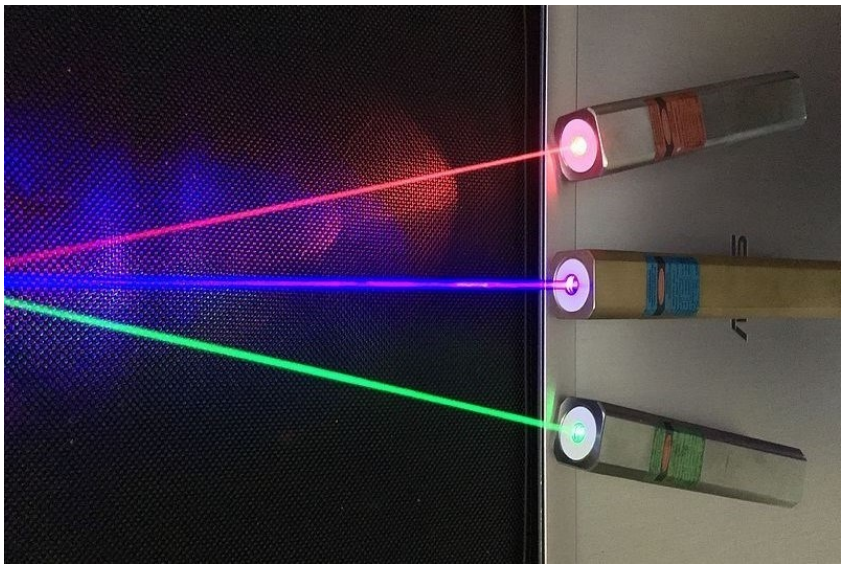


Figura 4 - Puntatori laser (di Pangkakit di Wikipedia in cinese,CC BY-SA 3.0, , https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=56023804)

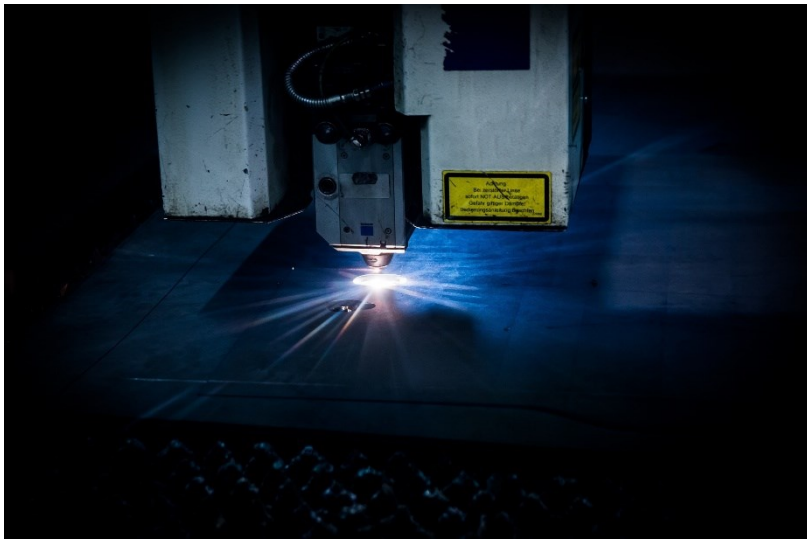


Figura 5 - Laser siderurgico

Figura 6 - Metro laser usato in ambito edilizio

Figura 7 – Lettore DVD

2.1.4. CLASSIFICAZIONE

I laser possono essere classificati in base al tipo di materiale attivo, che dopo essere stato eccitato produce luce laser, in questo caso abbiamo:

- **Ad Elio-Neon (He-Ne)**: hanno molti usi industriali e scientifici e sono spesso impiegati in dimostrazioni di ottica in laboratorio; nel loro funzionamento normale operano ad una lunghezza d'onda di 632,8 nm, nella parte rossa dello spettro visibile. La visibilità del fascio laser e le sue eccellenti qualità di coerenza spaziale lo rendono una sorgente molto utile per olografia e come luce di riferimento per la spettroscopia; è anche uno dei sistemi di test per la definizione del metro campione.

- **Ad anidride carbonica (CO_2)**: sono i più potenti laser ad onda continua disponibili attualmente, e sono anche fra i più efficienti: il rapporto fra potenza di pompaggio e potenza emessa dal laser può arrivare al 20%. Questo tipo di laser emette un fascio di luce infrarossa la cui lunghezza d'onda principale è centrata fra i 9,4 e i 10,6 micrometri. Vista l'alta potenza ottenibile, i laser CO_2 sono ampiamente usati in lavorazioni industriali per taglio e saldatura. Sono anche molto utili in chirurgia, perché l'acqua, costituente principale dei tessuti, assorbe molto bene la frequenza emessa, e quindi si prestano anche per chirurgia laser, lifting, peeling facciali e dermoabrasione.

- **A eccimeri**: utilizza tipicamente una combinazione di un gas nobile (argon, kripton o xenon) e un gas reattivo (fluoro o cloro). Sotto appropriate condizioni di stimolazione elettrica e alta pressione, viene creata una pseudo-molecola chiamata eccimero; questa è stabile solo in uno stato eccitato e può dar luogo a luce laser nella regione ultravioletta. I laser a eccimeri funzionano generalmente a impulsi, con una frequenza di circa 100 Hz ed una durata dell'impulso di circa 10 ns; vi sono anche modelli che operano a 200 Hz e 30 ns.

- **ND: Yag**: è un laser a stato solido che sfrutta come mezzo laser attivo un cristallo di granato di ittrio e alluminio (YAG) drogato al neodimio (Nd: Y3Al5O12). Il neodimio, vicariante con l'ittrio, lo sostituisce parzialmente come catione trivalente nella struttura reticolare dello YAG. Questi laser emettono normalmente luce con lunghezza d'onda di 1064 nm, nell'infrarosso, ma presentano anche transizioni a 940, 1 120, 1 320 e 1 440 nm.

  Esso viene usato in ambiti come medicina, per usi industriali e in fluidodinamica. Nel primo caso abbiamo applicazioni in oculistica, odontoiatria, fisioterapia, endoscopia toracica, endoscopia esofagea. Nel secondo caso si usa in lavorazioni industriali come strumento per incidere e marcare tutta una serie di metalli e plastiche, nonché per tagliare e saldare lamiere d'acciaio e altre leghe, oltre che per marcatura subsuperficiale di materiali trasparenti come vetro o acrilico. Nel terzo caso il suo utilizzo riguarda tecniche di visualizzazione del flusso fluido dinamico.

- **A ioni di Argon**: laser a gas il cui mezzo attivo è costituito da ioni di Argon e Kripton. La lunghezza d'onda del fascio emesso può variare da 500 nm a 1 000 nm, con potenze raggiungibili di poche decine di watt, che lo rendono adatto principalmente per applicazioni in ambito medicale.

Il laser ad Elio-Neon è classificato tra quelli a bassa potenza, mentre quelli ad anidride carbonica e ND: Yag sono considerati ad alta potenza.

2.1.5. INTERAZIONE CON I TESSUTI

La laserterapia è basata sulla prima legge della fotochimica, chiamata anche **legge di Grotthus-Draper**, ovvero: la luce deve essere assorbita da una sostanza chimica affinché abbia una reazione fotochimica.

Infatti, per quanto riguarda l'interazione con i tessuti, la luce laser deve colpire i cromofori del tessuto umano, ovvero dei gruppi di atomi che conferiscono colore alla molecola. Il fascio luminoso prende l'energia dei fotoni e deve essere in grado di riuscire a penetrare il tessuto e per fare ciò nell'essere umano, la lunghezza d'onda del laser non deve essere assorbita dai cromofori di melanina, acqua ed emoglobina.

Le lunghezze d'onda da 650, 810 e 1064 nanometri hanno un basso coefficiente di assorbimento da parte dei cromofori di melanina, acqua ed emoglobina, infatti esse fanno parte della cosiddetta **finestra terapeutica** perché l'onda elettromagnetica sarà in grado di non fermarsi in superficie e riuscirà a penetrare in profondità.

Non a caso queste sono le tre lunghezze d'onda più in evidenza oggi, in quanto hanno un maggior numero di studi scientifici a supporto della loro efficacia.

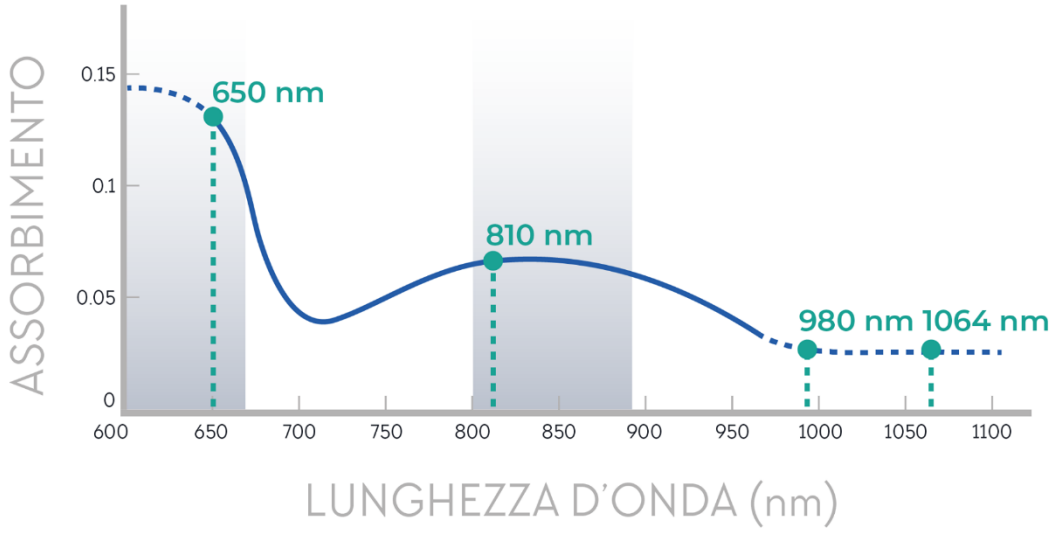


Figura 8 - Finestra terapeutica: assorbimento del laser da parte dei cromofori in base alla lunghezza d'onda. Mason MG, Nicholls P, Cooper CE. Re-evaluation of the near infrared spectra of mitochondrial cytochrome c oxidase: Implications for non invasive in vivo monitoring of tissues. Biochim Biophys Acta. 2014 Nov;1837(11):1882-1891.

L'interazione della luce con i tessuti provoca i fenomeni di scattering, riflessione e di assorbimento, quest'ultimo è quello di interesse in quanto esso determina la trasmissione dell'onda.

2.1.6. CITOCROMO-C OSSIDASI

La citocromo-c ossidasi è il quarto e ultimo complesso enzimatico della catena di trasporto degli elettroni localizzata nella membrana interna dei mitocondri ed è il cromoforo che deve essere colpito dai fotoni del laser per innescare la fotobiomodulazione. Esso fa parte, quindi, della catena respiratoria nelle cellule eucariotiche ed ha il compito di mediare il trasferimento di elettroni dal citocromo c all'ossigeno molecolare.

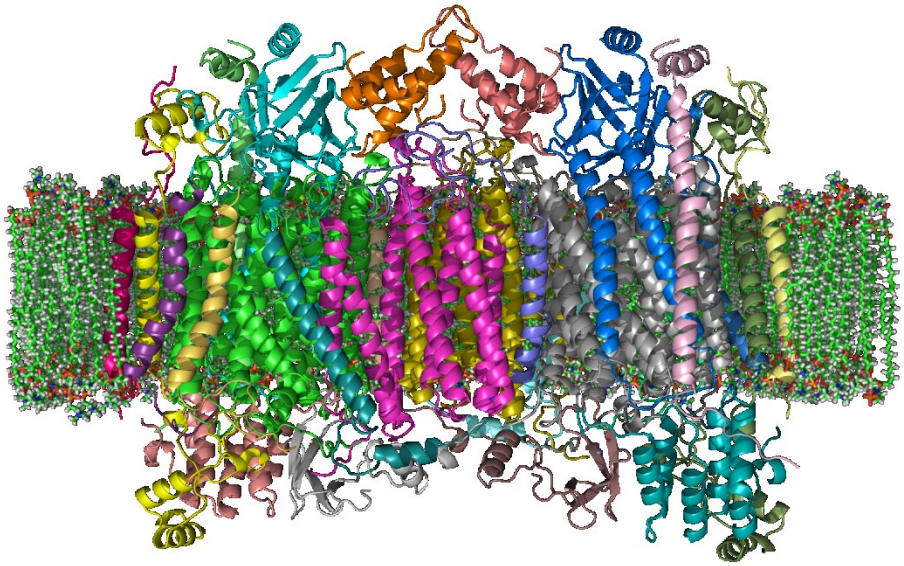


Figura 9 - Modello tridimensionale del complesso enzimatico citocromo-c ossidasi. Immagine presa da CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1673804

Questo complesso enzimatico risulta avere un ruolo determinante nel meccanismo di fotobiomodulazione perché è il principale foto accettore ed assorbe le lunghezze d'onda della finestra terapeutica in modo diverso, infatti per 650 e 810 nanometri si ha un maggior assorbimento da parte di questi enzimi, così si ha sicuramente la fotobiomodulazione[8] [9].

[8]Karu TI. Multiple roles of cytochrome c oxidase in mammalian cells under action of red and IR-A radiation. IUBMB Life. 2010 Aug;62(8):607-10.

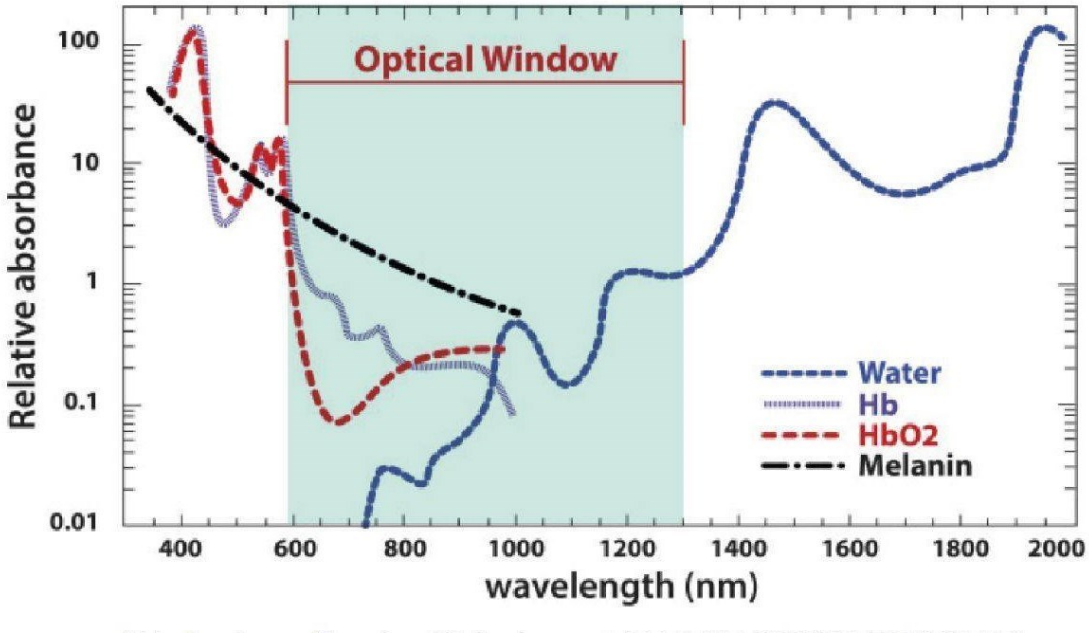


Figura 10 - Finestra terapeutica: assorbimento del laser da parte dei cromofori specifici di acqua, emoglobina, ossiemoglobina, melanina in base alla lunghezza d'onda. Hamblin M, Demidova T. Mechanisms of Low Level Light Therapy. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2006 Mar; 6140:1-12.

Quindi l'obiettivo è far sì che i fotoni emessi dal laser non siano assorbiti dai cromofori più superficiali di acqua e melanina e penetrino fino a colpire i citocromo-c ossidasi e per fare ciò è necessario utilizzare le giuste lunghezze d'onda.

[9] Mason MG, Nicholls P, Cooper CE. Re-evaluation of the near infrared spectra of mitochondrial cytochrome c oxidase: Implications for non invasive in vivo monitoring of tissues. Biochim Biophys Acta. 2014 Nov;1837(11):1882-1891.

2.1.7. EFFETTI CHIMICI PRODOTTI

Gli effetti chimici iniziano a livello di emoglobina e citocromo-c ossidasi. L'**emoglobina** è responsabile del trasporto dell'ossigeno dai polmoni alla cellula: una volta raggiunta la cellula, avviene lo scambio di ossigeno, facendolo passare all'interno della cellula.

Grazie alla terapia laser, si ottiene un miglioramento di questo tipo di scambio.

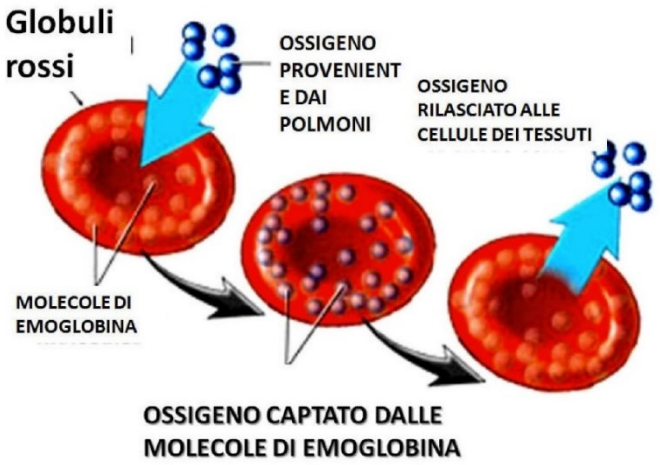


Figura 11 - Scambio di ossigeno. Immagine presa da https://www.unmedicopertutti.it/scambio_gas.html

L'ossigeno passa nei mitocondri, nella cui membrana mitocondriale è situata la catena respiratoria, formata da quattro complessi proteici, il cui ultimo enzima, come detto, è la citocromo-c ossidasi. L'ossigeno passa attraverso questi enzimi, producendo reazioni di ossidoriduzione chiamate anche **redox**, stimolando l'**ATP sintasi**, con produzione di ATP.

Questo ATP fornisce energia alle cellule, regolando un gran numero di reazioni, come la pompa sodio-potassio. Nelle cellule danneggiate si è visto che questo ATP non può essere prodotto, mentre tramite l'applicazione della terapia laser è possibile la produzione di questo ATP.

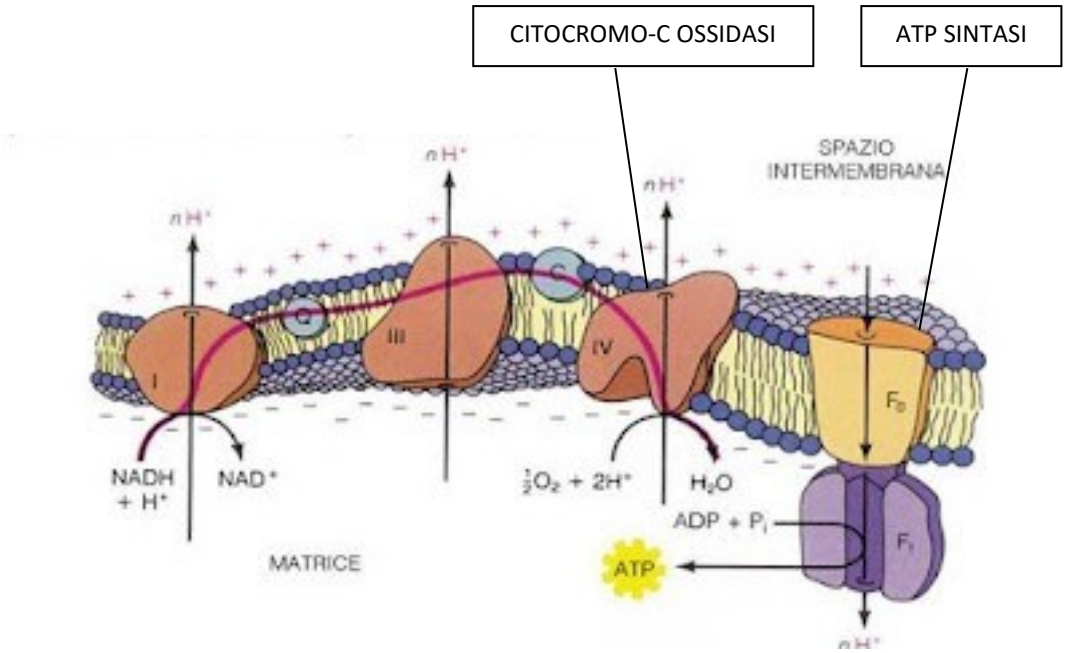


Figura 12 - Catena respiratoria. Immagine presa da https://marcocapponi.blogspot.com/2018/06/boyer-e-latp-sintasi.html?m=1

Come conseguenza di queste reazioni di ossidoriduzione, oltre all'ATP, vengono prodotti una serie di radicali liberi noti come ROS: **specie reattive dell'ossigeno**[10]. In situazioni di stress ossidativo, processi infiammatori cronici e concentrazioni inadeguate possono causare ossidazione cellulare ed essere correlati alla citotossicità. Mentre in concentrazioni fisiologiche, questi ROS sono legati al rilascio di diversi fattori di crescita legati alla riparazione dei tessuti poiché promuovono il differenziamento cellulare come, tra gli altri, quello neuronale.

D'altra parte, l'**ossido nitrico** (NO) si trova nel citocromo c e, quando viene stimolato dalla luce laser, avviene la dissociazione della citocromo-c ossidasi, in modo che l'ossigeno possa passare nella catena respiratoria, producendo reazioni di ossidoriduzione. A sua volta, l'ossido nitrico stimola la microcircolazione, provocando la vasodilatazione[11].

[10] Farivar S, Malekshahabi T, Shiari R. Biological effects of low level laser therapy. J Lasers Med Sci. 2014 Spring;5(2):58-62.

[11] Karu TI, Pyatibrat LV, Afanasyeva NI. Cellular effects of low power laser therapy can be mediated by nitric oxide. Lasers Surg Med. 2005 Apr;36(4):307-14.

2.1.8. EFFETTI FISICI E BIOLOGICI PRODOTTI

Le lunghezze d'onda sopra citate garantiscono degli effetti fisici: fotobiostimolante, fotomeccanico e fototermico. Nel primo caso la luce si trasforma in attività metabolica, nel secondo diventa un'onda meccanica e nel terzo la luce diventa calore e riscalda il tessuto.

Questi fenomeni fisici producono degli effetti biologici: il fotobiostimolante ha effetto biostimolante[12], anti-infiammatorio[13] ed analgesico[14] [15] [16]; il fotomeccanico ha effetto analgesico ed il fototermico è decontratturante ed anti-edemigeno. Tutti questi effetti hanno dei tessuti target su cui essere utilizzati: il biostimolante su tutti i tessuti biologici; l'anti-infiammatorio sul tessuto connettivo in particolare tendineo; l'analgesico sul tessuto nervoso, quindi su punti di dolore o per neuropatie; il decontratturante sul tessuto muscolare e l'anti-edemigeno sul tessuto linfatico con scopo drenante.

In maniera simile al fenomeno dell'abbronzatura, gli effetti sul tessuto non si interrompono appena termina l'esposizione, ma continuano anche nelle ore e giorni successivi.

---

[12] Frigo L, Fávero GM, Lima HJ, Maria DA, Bjordal JM, Joensen J, Iversen VV, Marcos RL, Parizzoto NA, Lopes-Martins RA. Low-level laser irradiation (InGaAlP-660 nm) increases fibroblast cell proliferation and reduces cell death in a dose-dependent manner. Photomed Laser Surg. 2010 Aug;28 Suppl 1:S151-6.

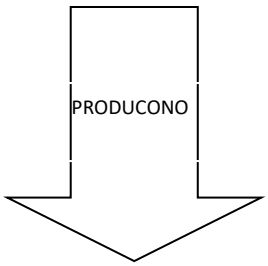
[13] Pires D, Xavier M, Araújo T, Silva JA Jr, Aimbire F, Albertini R. Low-level laser therapy (LLLT; 780 nm) acts differently on mRNA expression of anti- and pro-inflammatory mediators in an experimental model of collagenase-induced tendinitis in rat. Lasers Med Sci. 2011 Jan;26(1):85-94.

[14] Wakabayashi H, Hamba M, Matsumoto K, Tachibana H. Effect of irradiation by semiconductor laser on responses evoked in trigeminal caudal neurons by tooth pulp stimulation. Lasers Surg Med. 1993;13(6):605-10.

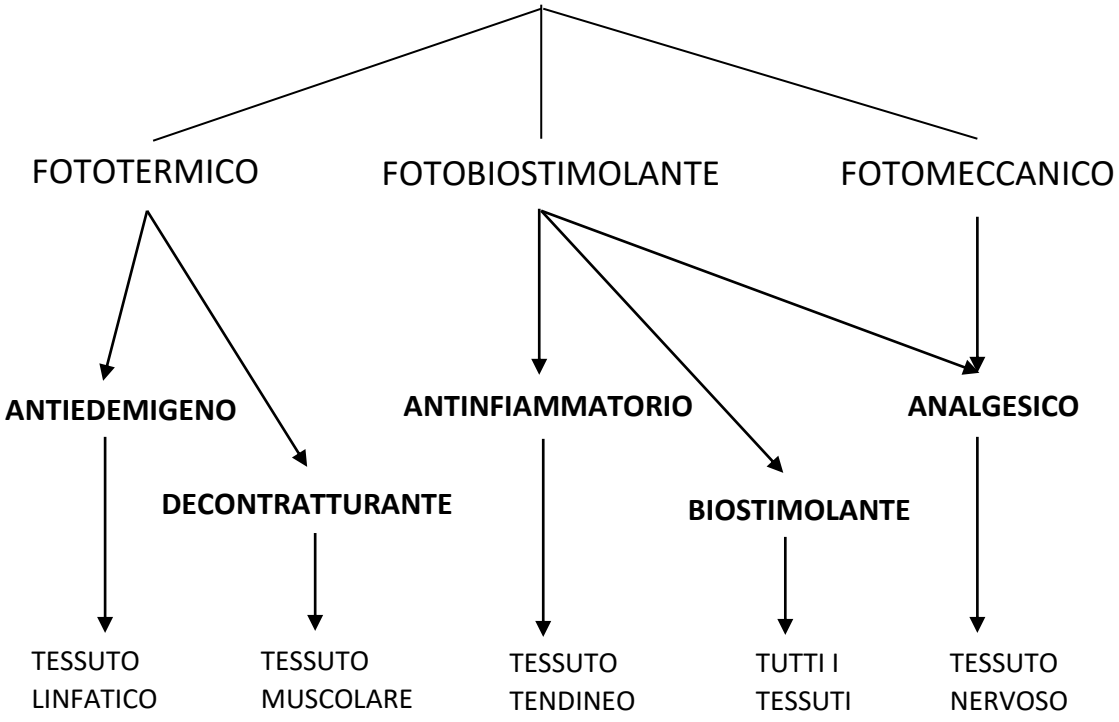
[15] Allen RJ. Physical agents used in the management of chronic pain by physical therapists. Phys Med Rehabil Clin N Am. 2006 May;17(2):315-45.

[16] Nicolau RA, Martinez MS, Rigau J, Tomàs J. Neurotransmitter release changes induced by low power 830 nm diode laser irradiation on the neuromuscular junctions of the mouse. Lasers Surg Med. 2004;35(3):236-41. doi: 10.1002/lsm.20087. PMID: 15389739.

EFFETTI CHIMICI



EFFETTI FISICI



2.1.9. MODALITÀ DI EMISSIONE DELLA LUCE

Le modalità di emissione migliori per innescare la fotobiomodulazione sono continua o pulsata, ma nel secondo caso l'impulso deve durare **almeno qualche millisecondo**, altrimenti non ci sarebbe tempo per i citocromi c ossidasi di innescare la fotobiomodulazione[17]. Inoltre deve esserci un tempo di riposo, il cosiddetto "dark period" tra due impulsi compreso tra 50ms e 200ms[18].

Per avere degli effetti biologici quanto più adatti al tipo di patologia ed alla situazione del paziente, è bene avere a disposizione più lunghezze d'onda, che possono essere mixate in percentuali diverse durante il trattamento e possono essere emesse in differenti modalità come ad esempio continua, pulsata, superpulsata.

2.1.10. CONTROLLO TERMICO

Il controllo termico è necessario per modulare l'energia laser e quindi ottimizzare l'azione metabolica dell'energia erogata, questo ci permette di trattare differenti fototipi e differenti tipologie di tessuto nella **sicurezza** più totale.

Infatti in questo modo è possibile trattare patologie in fase acuta; inoltre si avrà una minore vasodilatazione e ciò ha lo scopo di evitare una riacutizzazione o addirittura versamenti di sangue in caso di microlesioni.

È permesso anche il trattamento delle neuropatie disattivando lunghezze d'onda fastidiose per il tessuto nervoso; infine si ha un'ottimizzazione del trattamento in persone con fototipo scuro o con tatuaggi evitando così ustioni.

L'operatore ha la possibilità di impostare una o due soglie termiche, che verranno monitorate grazie al feedback costante del sensore termico ad infrarossi presente in alcuni applicatori.

---

[17] Hashmi JT, Huang YY, Sharma SK, Kurup DB, De Taboada L, Carroll JD, Hamblin MR. Effect of pulsing in low-level light therapy. Lasers Surg Med. 2010 Aug;42(6):450-66.

[18] Karu T.I., L.V. Pyatibrat, G.S. Kalendo, Studies into the action specifics of a pulsed GaAlAs laser (λ = 820 nm) on a cell culture. I. Reduction of the intracellular ATP concentration: dependence on initial ATP amount, Lasers Life Sci., 2001, 9, 203–210.

2.1.11. CONTROINDICAZIONI

Ci sono situazioni che potrebbero rappresentare controindicazioni all'utilizzo della laserterapia, anche se ad oggi non vi sono prove certe di ciò.

Esse sono:

- Gravidanza;
- Neoplasie;
- Soggetti epilettici;
- Stati febbrili ed infettivi;
- Portatori di pacemaker.

Inoltre se non si è dotati di un macchinario con controllo termico non è possibile trattare fototipi scuri e zone del corpo con tatuaggi.

2.1.12. TERAPIA LASER AD ALTA ENERGIA

Negli ultimi anni, ricercatori e medici hanno iniziato a somministrare la terapia laser ad alta energia nel trattamento di vari disturbi muscoloscheletrici[19] [20] [21] [22]. I risultati sono stati molto soddisfacenti e giustificanti l'interesse ad approfondire le conoscenze su questo trattamento[23].

La prima novità nell'uso di laser ad alto livello di energia rispetto ai laser a basso livello di energia risiede nella capacità di determinare **maggiore trasferimento di energia**.

[19] Notarnicola A, Maccagnano G, Tafuri S, Forcignanò MI, Panella A, Moretti B. CHELT therapy in the treatment of chronic insertional Achilles tendinopathy. Lasers Med Sci. 2014 May;29(3):1217-25.

[20] Notarnicola A, Maccagnano G, Tafuri S, Gallone MF, Moretti L, Moretti B. High level laser therapy for the treatment of lower back pain: clinical efficacy and comparison of different wavelengths. J Biol Regul Homeost Agents. 2016 Oct-Dec;30(4):1157-1164.

[21] Osti R, Pari C, Salvatori G, Massari L. Tri-length laser therapy associated to tecar therapy in the treatment of low-back pain in adults: a preliminary report of a prospective case series. Lasers Med Sci. 2015 Jan;30(1):407-12.

[22] Fiore P, Panza F, Cassatella G, Russo A, Frisardi V, Solfrizzi V, Ranieri M, Di Teo L, Santamato A. Short-term effects of high-intensity laser therapy versus ultrasound therapy in the treatment of low back pain: a randomized controlled trial. Eur J Phys Rehabil Med. 2011 Sep;47(3):367-73.

[23] Manchikanti L, Hirsch JA. An update on the management of chronic lumbar discogenic pain. Pain Manag. 2015 Sep;5(5):373-86.

Al fine di ottimizzare l'azione metabolica dell'energia erogata, è necessario un controllo termico che sia in grado di modulare l'High Energy Laser.

A questo punto, il nuovo obiettivo della ricerca clinica è quello di consentire la somministrazione simultanea di diverse lunghezze d'onda. Infatti, in base al lavoro precedente, è noto che ciascuna lunghezza d'onda, interagendo con diversi cromofori, determina i diversi effetti biologici.

Nello specifico si è visto che la lunghezza d'onda di 650 nm interagisce con il tessuto connettivo e induce una risposta antinfiammatoria[24] [25]; la lunghezza d'onda di 810 nm interagisce con le fibre nervose e provoca un effetto di modulazione del dolore radicolare[26]; quella da 1064 nm interagisce con il tessuto muscolare e provoca un'azione decontratturante[27].

La possibilità di effettuare contemporaneamente una biostimolazione specifica di fibre nervose, tessuto connettivo, fasci muscolari, infiammatoria e periferica i tessuti edemi, e la microcircolazione locale, sono alla base del nuovo terapia laser ad alta energia con somministrazione di più di una lunghezza d'onda.

Questa modalità di terapia, sfruttando un termo-controllo e il meccanismo di modulazione delle lunghezze d'onda, consentono di ottimizzare la fornitura di energia in relazione alla soglia termica tissutale di ciascun paziente.

---

[24] Hamilton HK, Dover JS, Arndt KA. Successful treatment of disfiguring hemosiderin-containing hyperpigmentation with the Q-switched 650-nm wavelength laser. JAMA Dermatol. 2014 Nov;150(11):1221-2.

[25] Lopes-Martins RA, Albertini R, Martins PS, Bjordal JM, Faria Neto HC. Spontaneous effects of low-level laser therapy (650 nm) in acute inflammatory mouse pleurisy induced by carrageenan. Photomed Laser Surg. 2005 Aug;23(4):377-81.

[26] Byrnes KR, Waynant RW, Ilev IK, Wu X, Barna L, Smith K, Heckert R, Gerst H, Anders JJ. Light promotes regeneration and functional recovery and alters the immune response after spinal cord injury. Lasers Surg Med. 2005 Mar;36(3):171-85.

[27] Anderson PR. Cutaneous Laser Surgery. St. Louis, Missouri: Mosby Inc; Laser-Tissue Interactions. 1999;13–18.

2.2.PATOLOGIE MUSCOLO-SCHELETRICHE

Le malattie muscolo-scheletriche possono essere definite come un ampio spettro di patologie infiammatorie e degenerative che interessano l'**apparato locomotore** ed i suoi componenti: muscoli, guaine muscolari, tendini, guaine tendinee, borse sinoviali, legamenti, ossa, nervi periferici, strutture vascolari.

2.2.1. CLASSIFICAZIONE

Le malattie muscolo-scheletriche possono essere divise grossolanamente in[28]:

- **Infiammazioni osteo-tendinee e articolari** come ad esempio tenosinoviti, epicondiliti e borsiti;
- **Disturbi da compressione nervosa,** tra cui sindrome del tunnel carpale e lombosciatalgia;
- **Osteoartrosi**;
- **Altra categoria**, che comprende mialgia, dolore lombare e sindromi dolorose regionali non attribuibili a patologie conosciute.

2.2.2. SINTOMI

Queste patologie causano dolore e limitazioni dei movimenti e che possono determinare anche una compromissione degli organi interni come cuore, polmoni, fegato ed altri.

I sintomi comuni delle patologie muscoloscheletriche includono **dolore**, **debolezza**, **rigidità**, rumori articolari e **ridotta ampiezza di movimento**. L'infiammazione può causare dolore, **gonfiore**, calore, dolorabilità, danneggiamento della funzione e a volte rossore sulla cute sovrastante. Essa può essere causata da molti disturbi muscoloscheletrici diversi, come i disturbi autoimmuni (ad esempio, l'artrite reumatoide) e le infezioni.

[28] https://www.dors.it/documentazione/testo/201802/MSD_Derrico.pdf

Quando l'infiammazione colpisce un'articolazione, all'interno dell'articolazione può accumularsi del liquido, che provoca dolore, gonfiore e diminuzione dell'ampiezza di movimento.

2.2.3. IMPLICAZIONI SOCIALI ED ECONOMICHE

Le sofferenze non si limitano solo alle persone colpite ma si estendono anche ai loro familiari e riguardano anche l'ambito economico, con costi elevati per il sistema sanitario e di conseguenza per l'intera economia, ad esempio per via delle **assenze sul posto di lavoro** o del **tempo dedicato** dai parenti alla cura dei malati[29].

Le conseguenze di una malattia muscolo-scheletrica sono per le persone interessate di ampia portata: soffrono spesso di dolori e limitazioni funzionali dell'intero apparato locomotore. Le malattie spesso seguono un decorso cronico per cui le persone colpite dipendono per tutta la loro vita da un efficiente sistema sanitario. Conseguentemente, la qualità di vita delle persone interessate può essere influenzata anche dalle limitazioni nella capacità lavorativa o nella partecipazione sociale, infine in alcuni casi la malattia causa perfino una riduzione dell'aspettativa di vita.

Le attività sociali sono compromesse intensamente sia dai sintomi fisici, come dolori articolari, gonfiori, stanchezza, sia dal **logorio psichico** dovuto al vissuto della malattia. È ben noto lo stretto rapporto delle malattie croniche somatiche con le malattie psichiche, in particolare con la depressione[30] [31].

---

[29] https://www.bag.admin.ch/bag/it/home/krankheiten/krankheiten-im-ueberblick/erkrankungen-bewegungsapparat.html

[30] Mallen CD, Peat G. Screening older people with musculoskeletal pain for depressive symptoms in primary care. Br J Gen Pract. 2008 Oct;58(555):688-93.

[31] Tyrovolas S, Moneta V, Giné Vázquez I, Koyanagi A, Abduljabbar AS, Haro JM. Mental Disorders, Musculoskeletal Disorders and Income-Driven Patterns: Evidence from the Global Burden of Disease Study 2017. J Clin Med. 2020 Jul 10;9(7):2189.

3. MATERIALI E METODI UTILIZZATI NELLO STUDIO

L'obiettivo di questo studio è **verificare l'efficacia di una laserterapia** che eroga contemporaneamente lunghezze d'onda da 650, 810 e 1064 nanometri e con controllo termico **nel migliorare il dolore e la disabilità in pazienti** con disordini muscoloscheletrici.

3.1.POPOLAZIONE IN STUDIO

La popolazione in studio è stata quella che presentava disordine muscolo-scheletrico, afferente al reparto di Medicina Riabilitativa dell'Azienda Ospedaliera Ospedali Riuniti di Ancona diretto dal Dottor Ricci.

I pazienti venivano innanzitutto visitati dai fisiatri del reparto e successivamente accedevano all'ambulatorio con il fisioterapista che effettuava una breve valutazione funzionale per capire come impostare il lavoro, per poi iniziare la terapia.

3.2.CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE

Sono stati **inclusi** 16 pazienti ⟹ 10 donne e 6 uomini di $34 \leq$ età ≤ 76 anni.

I disordini muscolo-scheletrici diagnosticati sono stati:

- Cervicalgia;
- Lombalgia;
- Tendinopatie di spalla;
- Epicondiliti;
- Trocanteriti;
- Tendiniti rotulee;
- Tendiniti achillee.

Sono stati **esclusi** soggetti che presentavano controindicazioni al trattamento con laserterapia: patologie oncologiche attive, in stato di gravidanza, soggetti epilettici, con stati febbrili ed infettivi attivi, portatori di pacemaker.

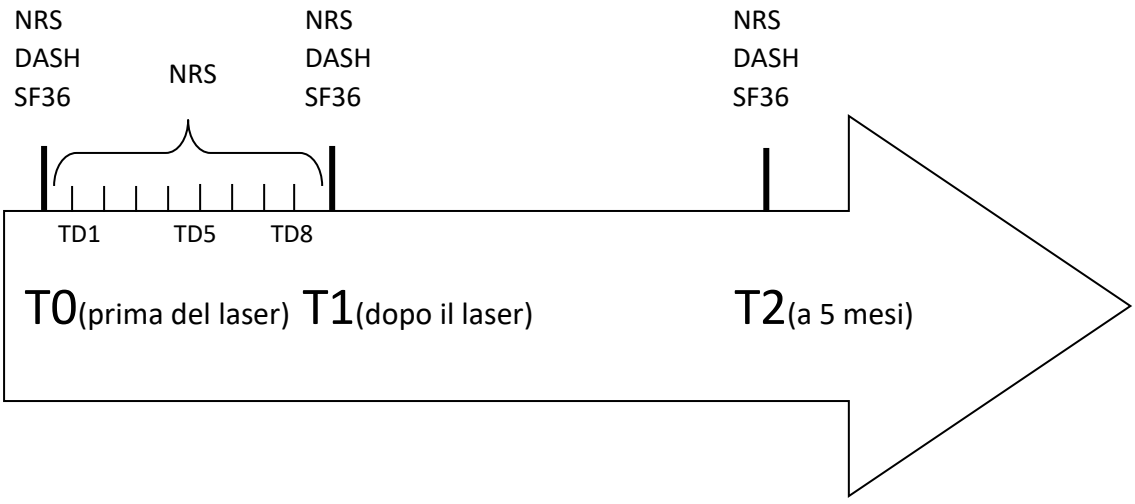
3.3.INDICATORI DI RISULTATO E MISURE DI OUTCOME

Come indicatori di risultato sono stati considerati:

1) **Dolore**, che è stato misurato tramite la scala NRS
2) **Funzionalità dell'articolazione**, per la quale state utilizzate diverse scale in base alla zona della problematica, ovvero NDI, ODI, DASH, PRTEE, HHS, KOOS, FAAM
3) **Qualità della vita**, utilizzando la scala SF-36.

Tutti questi parametri sono stati presi prima dell'inizio del trattamento (T0), dopo la fine della decima ed ultima seduta (T1) ed a distanza di 5 mesi dalla fine del trattamento (T2). Per quanto riguarda il dolore, la NRS oltre che a T0, T1 e T2 è stata somministrata anche all'inizio di ogni seduta, con frequenza giornaliera, quindi anche in seconda seduta (TD1) e così via fino ad arrivare alla nona seduta (TD8).

A T2 i pazienti sono stati divisi in due gruppi: coloro che dopo la laserterapia avevano svolto sedute di fisioterapia secondo le linee guida ed il protocollo standard e chi no, in modo da confrontare i risultati. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, nei pazienti con problematiche al quadrante superiore 4 hanno svolto sedute di fisioterapia dopo il laser mentre 3 no; nei pazienti con patologie inerenti al quadrante inferiore 3 hanno fatto fisioterapia dopo il laser e 5 no.



3.3.1. NRS

La NRS è una scala di tipo unidimensionale, ovvero che va a considerare soltanto il dolore e nessun altro fattore, consiste in una scala numerica da 0 a 10 dove: 0 indica dolore assente, 10 indica dolore massimo, i valori tra 1 e 9 compresi indicano una ingravescente presenza di dolore.

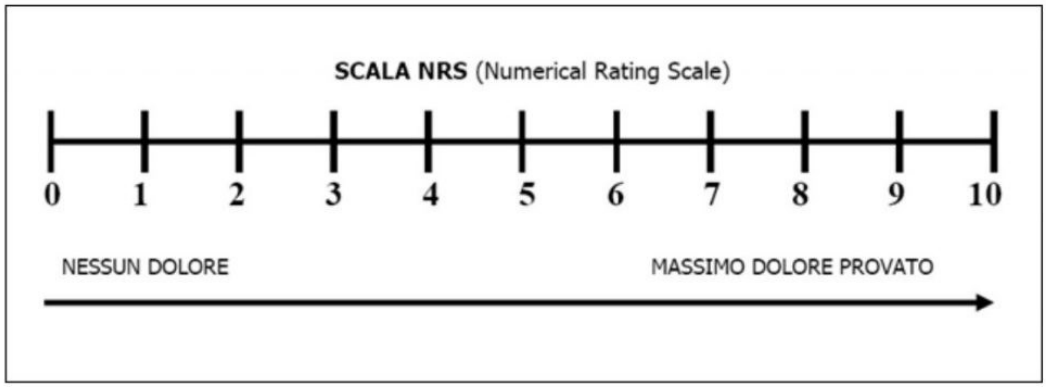


Figura 13 - Scala NRS. Immagine presa da https://nursetimes.org/la-rilevazione-del-dolore-in-terapia-intensiva/110636

3.3.2. DASH

La scala DASH è un importante strumento di valutazione, validato in italiano, basato su un questionario distrettuale, autocompilato dal paziente, che ha lo scopo di valutare la funzione dell'arto superiore.

Il questionario è costituito da 38 domande suddivise in tre moduli:

- *MODULO PRINCIPALE*: 30 domande che indagano diversi aspetti della vita quotidiana
  - 16 domande relative alla funzionalità della mano che indagano attività della vita quotidiana (scrivere, girare una chiave, aprire un barattolo…).
  - 4 domande relative alle attività ricreative (giocare a carte, usare il martello, giocare a frisbee).
  - 3 domande relative alla percezione del paziente riguardo la disabilità in attività lavorative e sociali.

- 5 domande che indagano i sintomi presenti (dolore, formicolio, debolezza e rigidità).
- 1 domanda relativa alla difficoltà di dormire a causa del dolore.
- 1 domanda relativa alla perdita di fiducia a causa del problema

- *MODULO LAVORATIVO* (opzionale/non obbligatorio): utilizzato per lavoratori la cui professione richiede un alto livello di prestazione fisica; tali soggetti possono essere in difficoltà solo durante alte prestazioni che vanno oltre i primi 30 quesiti proposti.
  - 4 domande che verificano la capacità dell'arto superiore durante l'attività lavorativa

- *MODULO RICREATIVO* (opzionale/non obbligatorio): utilizzato per soggetti la cui attività sportiva o ricreativa richiede un alto livello di prestazione fisica; tali soggetti possono essere in difficoltà solo durante alte prestazioni che vanno oltre i primi 30 quesiti proposti.
  - 4 domande che verificano la capacità di suonare uno strumento o praticare uno sport.

Questa scala viene interpretata tramite dei valori percentuali, dove un punteggio maggiore indica una maggiore disabilità da parte del paziente.

3.3.3. SF36

Per quanto riguarda la qualità della vita è stata utilizzata la scala SF-36, che è costituita da 36 domande suddivise in 8 ambiti diversi: funzionamento fisico (10 item), limitazioni dovute alla salute fisica (4 item), limitazioni dovute a problemi emotivi (3 item), energia e fatica (4 item), benessere emotivo (5 item), attività sociali (2 item), dolore (2 item) e percezione salute generale (5 item).

La scala SF36 esprime un punteggio percentuale che più e alto e maggiore sarà la qualità della vita del paziente.

3.4.SETTING E TIMING

Le dieci sedute sono state somministrate in un ambulatorio del reparto di Medicina Riabilitativa dell'Azienda Ospedaliera Ospedali Riuniti di Ancona nell'arco temporale di due settimane, quindi con frequenza di cinque trattamenti alla settimana in maniera consecutiva.

3.5.TRATTAMENTO E MACCHINARIO UTILIZZATO

È stato somministrato a tutti un trattamento che consisteva in dieci sedute di laserterapia ad alta energia con controllo termico a emissione multimodale regolabile tramite il macchinario Laser iLux XP theal therapy 16 W, Mectronic Medicale, Italia, con l'erogazione simultanea di lunghezze d'onda da 650 nm, 810 nm e 1064 nm. Sia il paziente che il fisioterapista indossavano occhiali a protezione dalle onde luminose.

È bene specificare che il macchinario utilizzato è dotato di un manipolo mobile che è impugnato dal fisioterapista e permette di direzionare la luce laser nei punti più opportuni in base al problema a cui si sta lavorando.

Figura 14 - Manipolo mobile Lightblade utilizzato in questo studio. Immagine presa da https://www.mectronicmedicale.com/it/azienda/innovazione

Il macchinario, inoltre, ha a disposizione effetti che agiscono su aspetti diversi delle patologie ed ognuno di essi ha dei parametri fisici preimpostati. I parametri personali come età, dolore, stadio della patologia, fototipo della pelle venivano impostati nel macchinario prima dell'inizio del trattamento ed in seguito si procedeva all'applicazione degli effetti più appropriati in base a tutti i parametri soggettivi riferiti dal paziente. In base all'effetto ed ai parametri selezionati, si hanno12 modalità di emissione suddivise in 5 categorie: CW, pulsate, superpulsate, custom, stocastiche.

L'effetto **anti-edemigeno** è stato utilizzato al fine di drenare il liquido che si forma in situazioni di infiammazione.

L'effetto **antalgico** utilizza una nuova modalità di emissione chiamata E^2C, che modula l'energia, ottimizzando l'interazione con il sistema nervoso periferico, al fine di combattere e ridurre il dolore muscolare, articolare e neuropatico senza effetti collaterali.

L'effetto **biostimolante** agisce stimolando la proliferazione dei fibroblasti con conseguente produzione di collagene al fine di riequilibrare la matrice extracellulare e di rimodellare i tessuti.

L'effetto **antinfiammatorio** modula i processi infiammatori tramite la profonda stimolazione biologica dei tessuti, innescando la vasodilatazione, incrementando l'apporto di ossigeno nei tessuti interessati e attivando così le principali attività metaboliche. Il processo di rilascio dell'ossido nitrico è fondamentale per il riequilibrio della microcircolazione; attraverso una vasodilatazione controllata, il processo di neo-angiogenesi assicura la riattivazione della peristalsi linfatica e la raccolta dei cataboliti della cascata infiammatoria.

L’effetto **decontratturante** modula il rilascio dell’ossigeno dall’emoglobina ossigenata, la perfusione dell’ossigeno nei tessuti muscolari contratti risolve i problemi topici di ischemia e ipossia favorendo la distensione delle fibre muscolari.

Gli effetti **trigger point** hanno come obiettivi la disattivazione di questi punti sia attivi che latenti, la diminuzione del dolore ed un effetto decontratturante sulla muscolatura.

L’effetto **theal fascia** è finalizzato ad incrementare l’ossigenazione e l’elasticità del tessuto connettivo, in questo caso la fotobiomodulazione aumenta il metabolismo cellulare, supporta ed accelera la rigenerazione cellulare e migliora il riassorbimento linfatico e venoso.

4. RISULTATI

4.1.DOLORE

Il dolore è l'unico parametro che, a differenza degli altri, è stato registrato in maniera giornaliera durante il trattamento, quindi grazie ai grafici è possibile notare l'andamento in maniera costante e dettagliata.

In tutti i pazienti si può notare una diminuzione considerevole di esso, infatti il valore medio della NRS parte da 7,44 a T0, per arrivare a 3,50 a T1 dopo la fine del trattamento e si mantiene costante a 5 mesi dal trattamento con un valore di 3,94 a T2, come mostrato nel grafico sottostante.

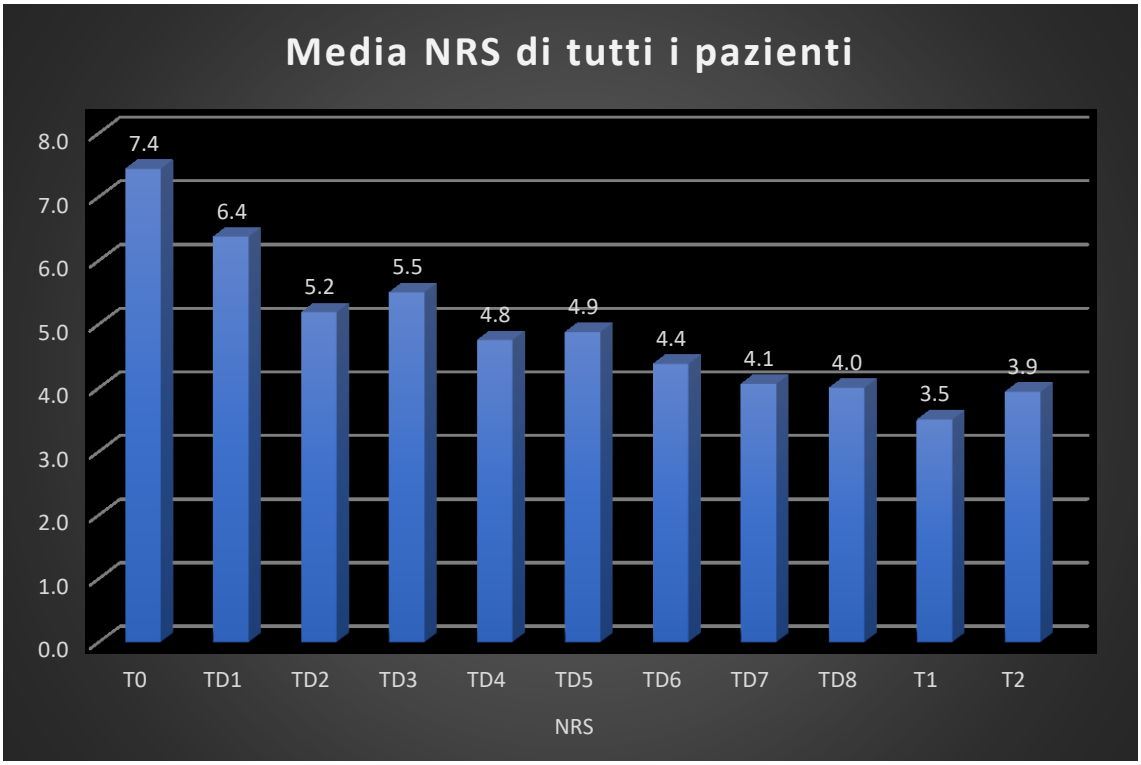


Grafico 1 – Media giornaliera dell'NRS di tutti i pazienti.

Ci sono state alcune differenze se si considerano separatamente i pazienti con patologie agli arti superiori e quelli con patologie agli arti inferiori. Infatti i primi hanno avuto una diminuzione del dolore più importante rispetto ai secondi sia a T1 a fine trattamento che a T2 dopo 5 mesi dalla fine del trattamento.

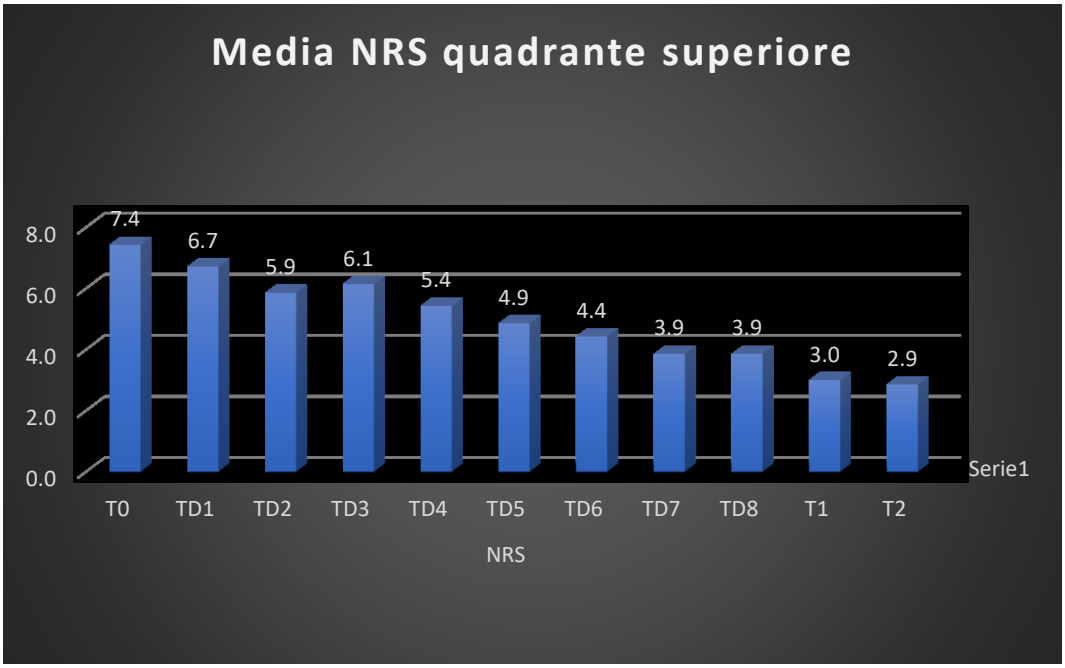


Grafico 2 – Media dell'NRS in pazienti con patologie al quadrante superiore

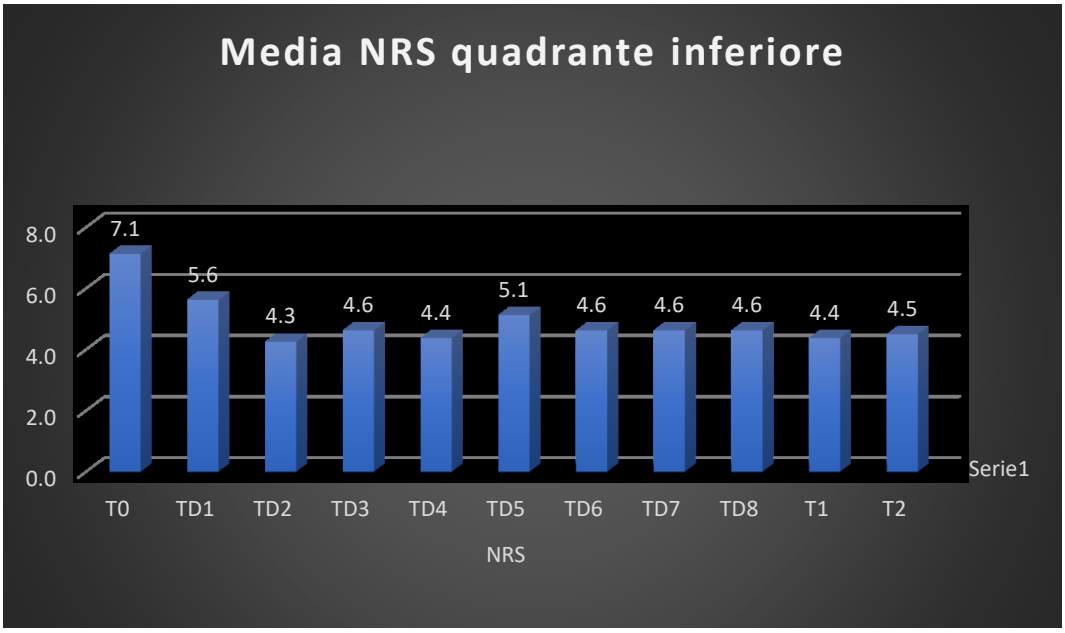


Grafico 3 - Media dell'NRS in pazienti con patologie al quadrante inferiore

Una differenza importante può essere notata distinguendo chi ha fatto fisioterapia dopo il laser e chi no: coloro che sono stati sottoposti a sedute di fisioterapia secondo le linee guida ed i protocolli standard, hanno avuto un'ulteriore leggera diminuzione del dolore. Infatti si è partiti da una NRS media di 7,86 per arrivare alla fine della laserterapia a 3,14 e dopo la fisioterapia, a 5 mesi dal trattamento, a 2,57.

Chi non ha fatto fisioterapia, invece, è partito da un valore medio della NRS di 7,11, diminuito poi alla fine del laser a 3,78, in seguito però, senza fisioterapia, è stato soggetto ad un aumento del dolore, che è passato ad un valore medio di 5.

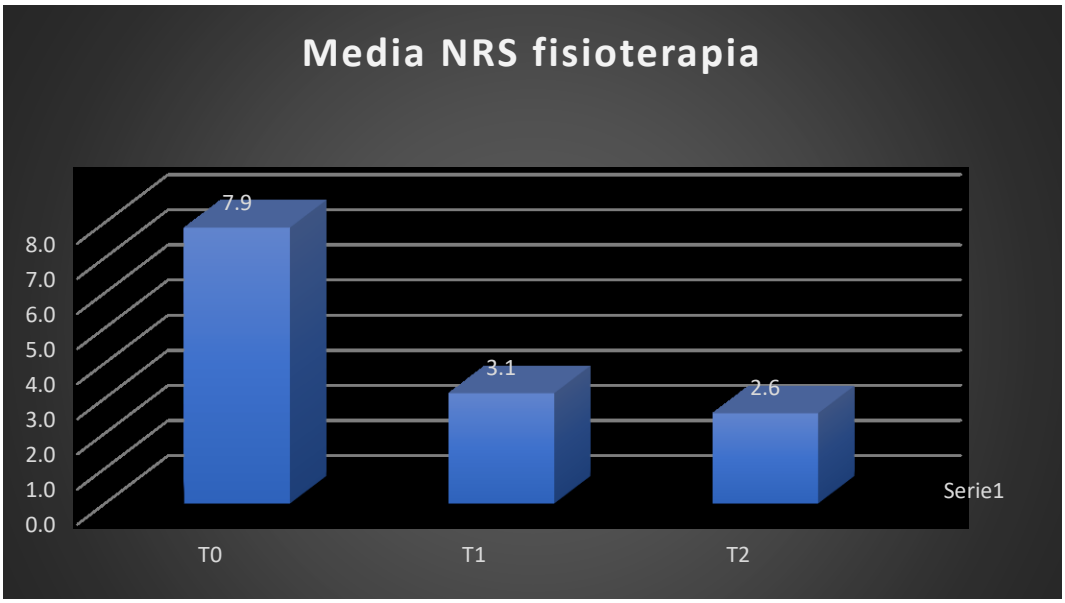


Grafico 4 – Media dell'NRS in pazienti che hanno fatto fisioterapia dopo il laser

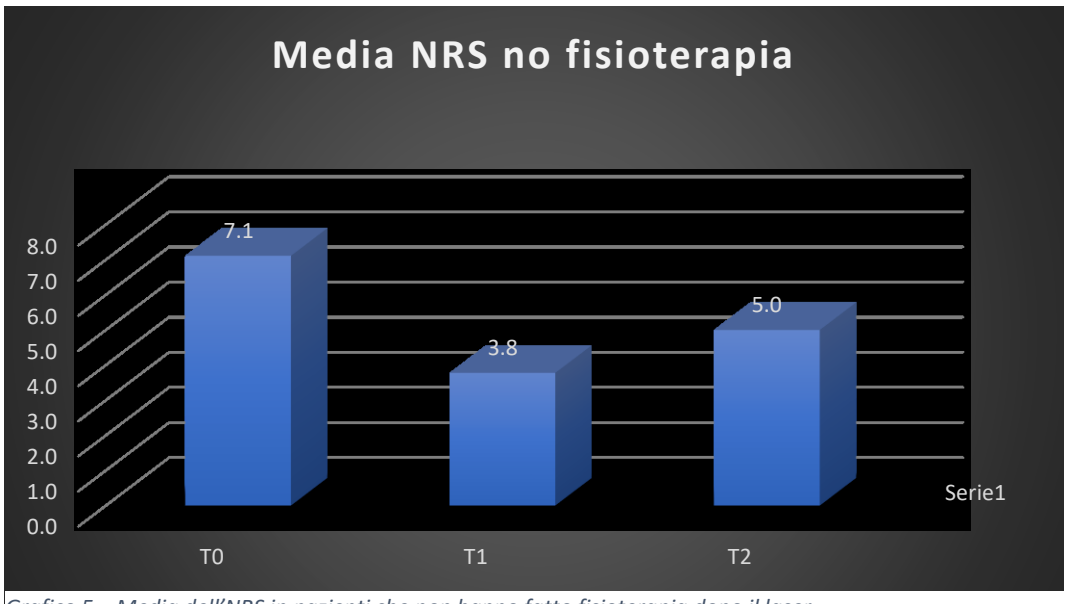


Grafico 5 – Media dell'NRS in pazienti che non hanno fatto fisioterapia dopo il laser

Analizzando esclusivamente i pazienti con patologie all'arto superiore e dividendoli in chi ha fatto fisioterapia dopo il laser e chi no, emerge che i primi hanno avuto in media un miglioramento sostanziale tra prima e dopo il laser e 5 mesi dopo hanno avuto un ulteriore leggero miglioramento. I secondi hanno visto mediamente il loro dolore calare da T0 a T1 anche se in maniera meno importante rispetto ai pazienti con patologie al quadrante superiore, però, da T1 a T2 c'è stato un leggero riaumento senza fisioterapia.

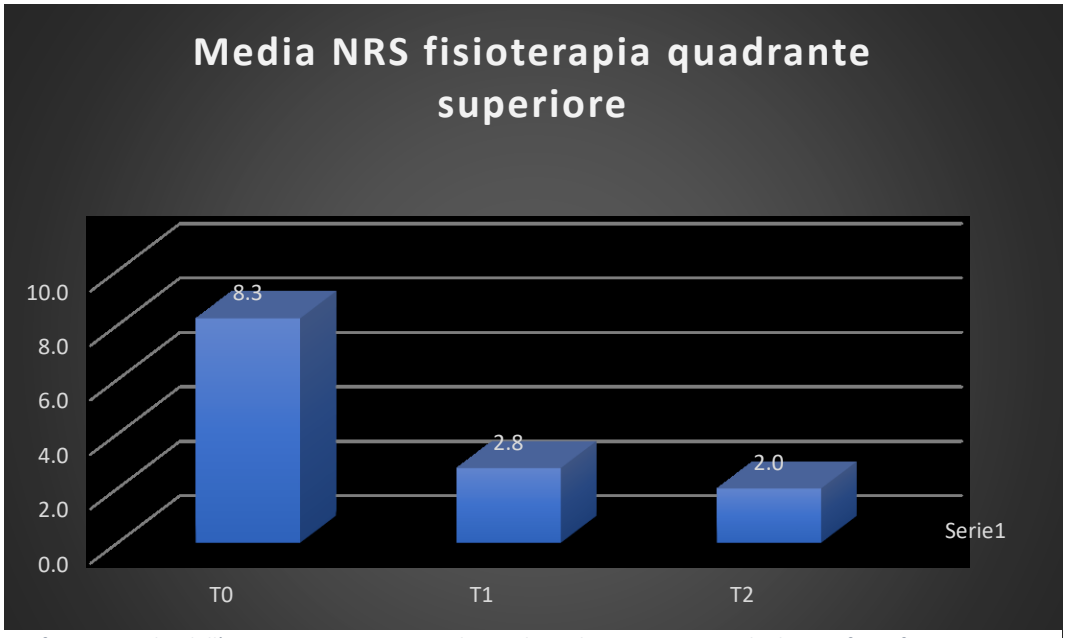


Grafico 6 – Media dell'NRS in pazienti con patologie al quadrante superiore che hanno fatto fisioterapia

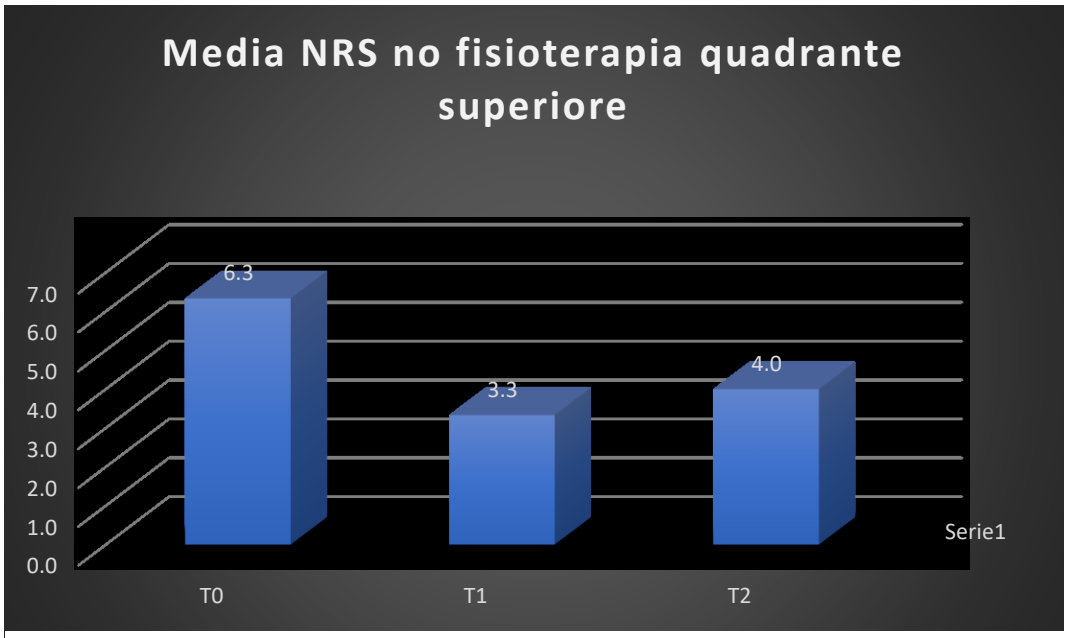


Grafico 7 - Media dell'NRS in pazienti con patologie al quadrante superiore che non hanno fatto fisioterapia

Prendendo in considerazione il quadrante inferiore, se dividiamo i pazienti in coloro che hanno fatto fisioterapia e chi non l'ha fatta, vediamo che la tendenza è la stessa vista in precedenza nel quadrante superiore. I primi hanno avuto un miglioramento sia tra T0 e T1, che tra T1 e T2, mentre i secondi sono migliorati tra T0 e T1, ma c'è stato un lieve peggioramento tra T1 e T2.

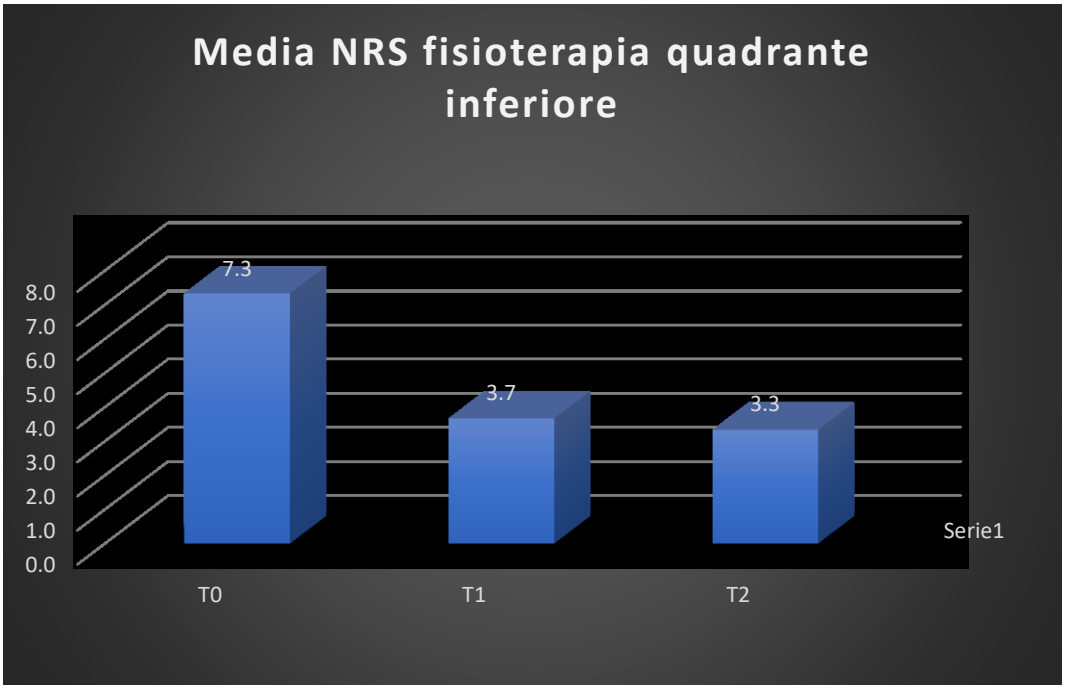


Grafico 8 – Media dell'NRS in pazienti con patologie al quadrante inferiore che hanno fatto fisioterapia

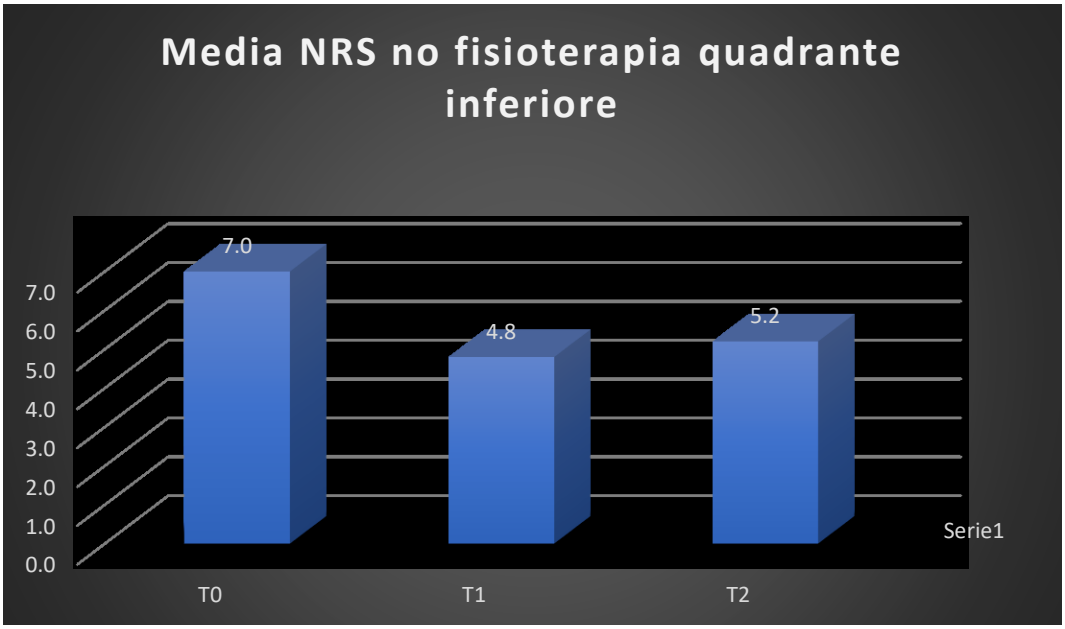


Grafico 9 - Media dell'NRS in pazienti con patologie al quadrante inferiore che non hanno fatto fisioterapia

4.2.FUNZIONALITÀ

Per quanto riguarda la funzionalità sono state utilizzate diverse scale in base alla zona del corpo colpita dalla patologia, ma non avendo un numero sufficiente di problematiche simili tra loro per quanto riguarda il quadrante inferiore, riporterò i risultati delle patologie dell'arto superiore tutte quantificabili tramite la scala DASH.

Per l'interpretazione dei punteggi, si tenga in considerazione che, come già indicato nel capitolo 3.3.2, questa scala viene interpretata tramite dei valori percentuali, dove un punteggio maggiore indica una maggiore disabilità da parte del paziente.

In questo caso la media iniziale al T0 della popolazione in studio è di 37,0%, che diminuisce al T1 fino a 23,1% per poi rimanere sostanzialmente costante al T2 dopo 5 mesi dalla fine del trattamento con un valore pari a 22,4%.

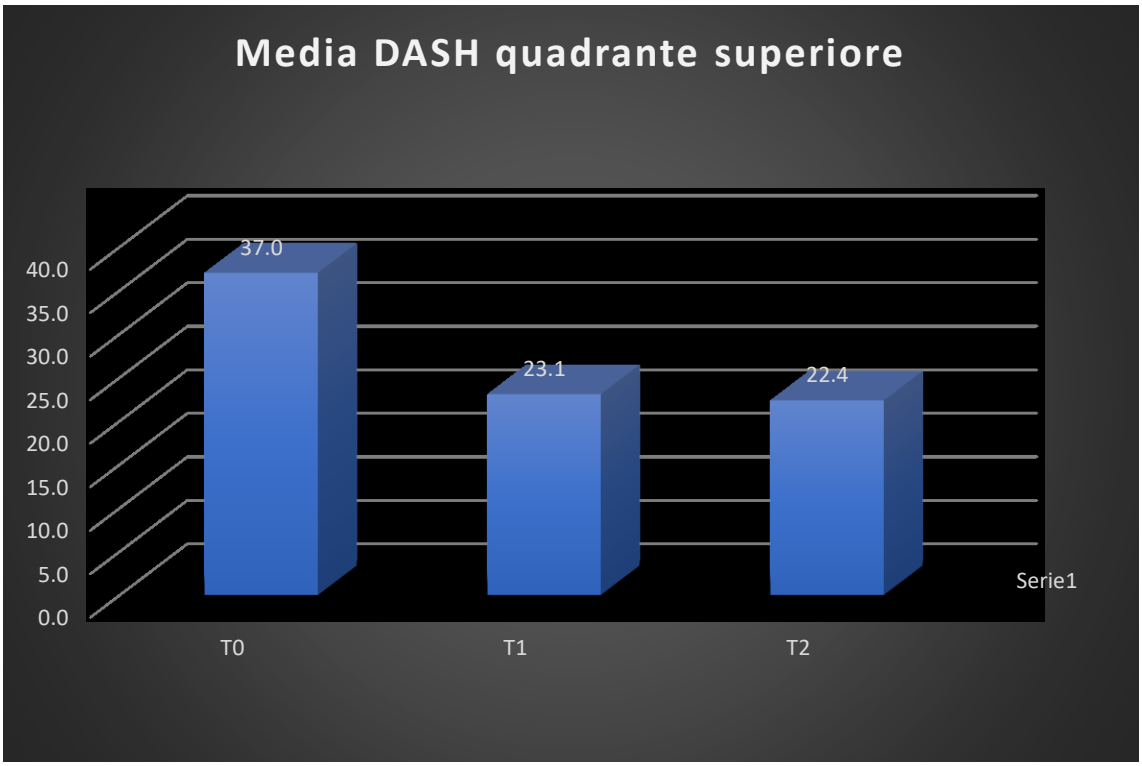


Grafico 10 – Media della scala DASH in pazienti con patologie al quadrante superiore

Dividendo le persone a cui è stata somministrata la DASH in chi ha fatto fisioterapia dopo il laser e chi non l'ha fatta emerge una differenza interessante: chi ha svolto le sedute di fisioterapia ha mostrato ulteriori notevoli miglioramenti, mentre in chi non l'ha fatto il punteggio della DASH è considerevolmente aumentato e quindi peggiorato.

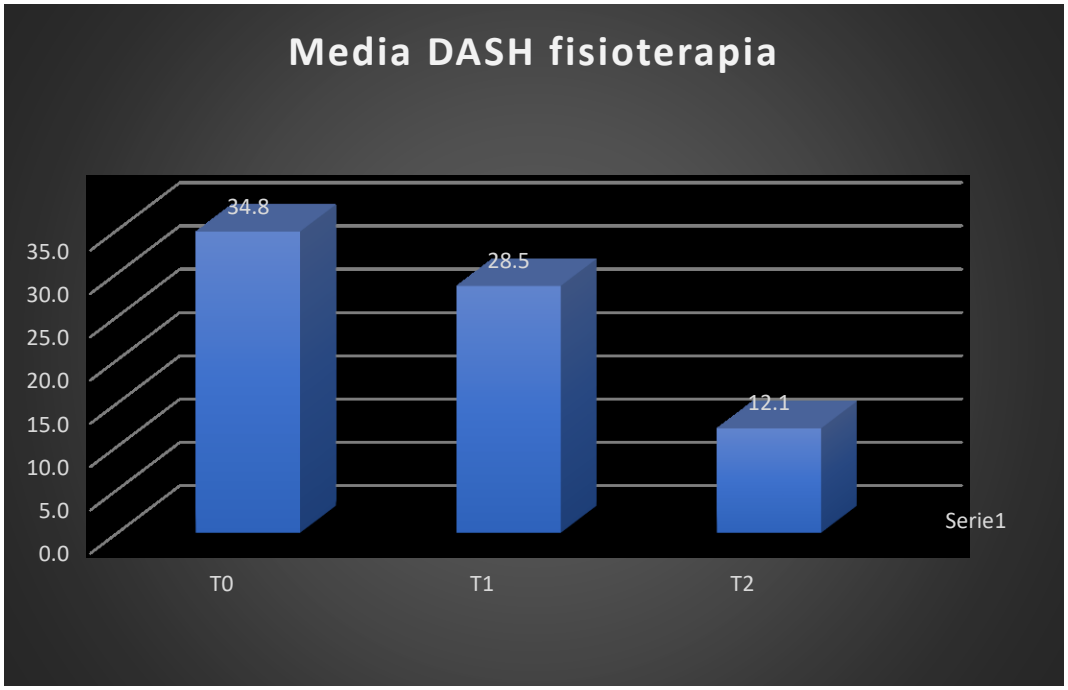


Grafico 11 – Media della scala DASH in pazienti che hanno fatto fisioterapia dopo il laser

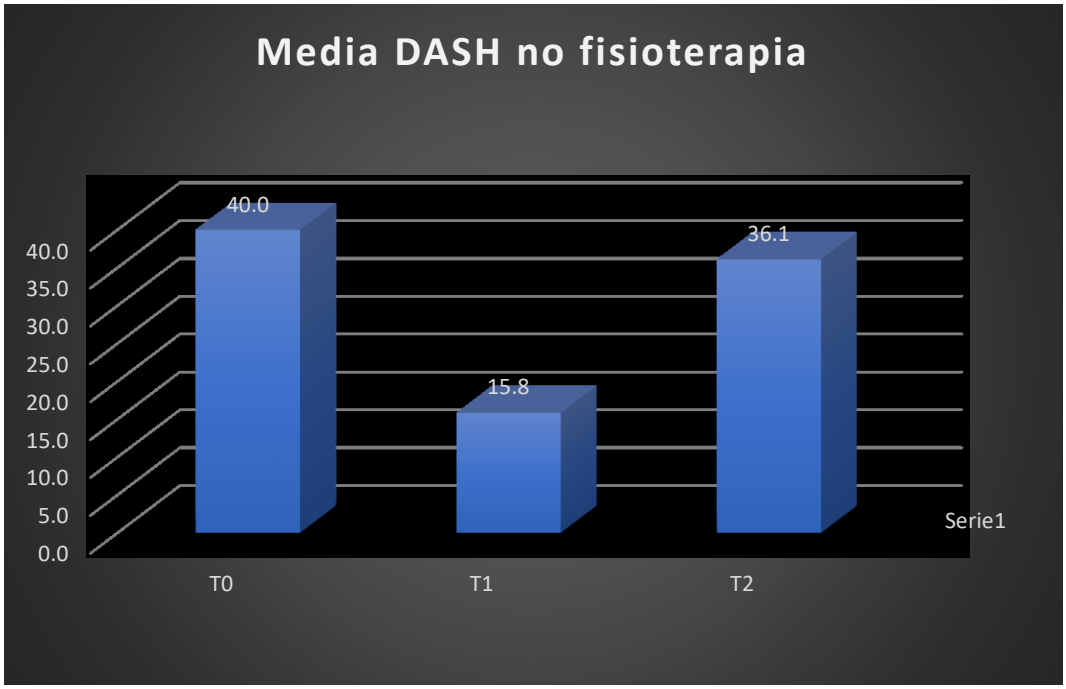


Grafico 12 – Media della scala DASH in pazienti che non hanno fatto fisioterapia dopo il laser

4.3.QUALITÀ DELLA VITA

Per l'interpretazione dei punteggi, si tenga in considerazione che, come già spiegato nel capitolo 3.3.3, la scala SF36 esprime un punteggio percentuale che più e alto e maggiore sarà la qualità della vita del paziente.

Facendo una media della qualità della vita espressa da tutti i pazienti, il valore a T0 è di 58,8%, che aumenta fino al 64,4% a T1, per poi migliorare di poco a T2 con un valore di 65,5%.

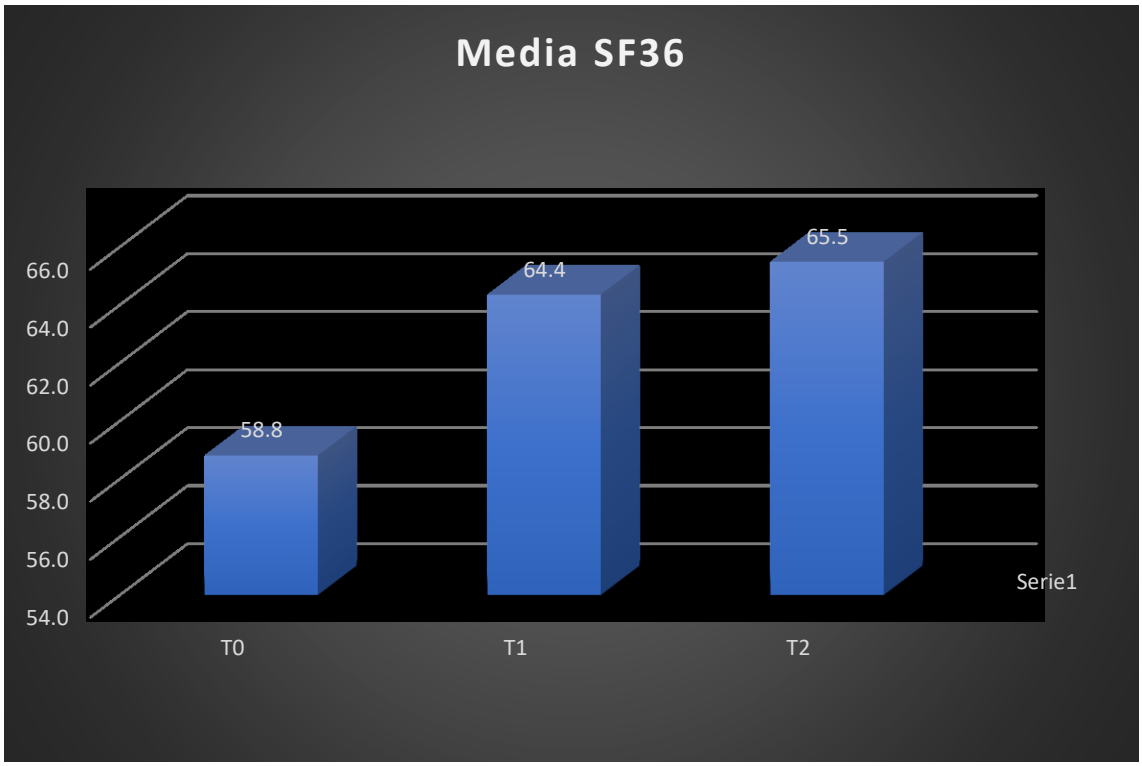


Grafico 13 – Media della scala SF36 in tutti i pazienti

Considerando solamente l'ambito del funzionamento fisico abbiamo un aumento sia dal T0 al T1, dove il valore medio passa dal 62,8% al 67,8%, che dal T1 al T2, dove il valore si attesta al 71,9%.

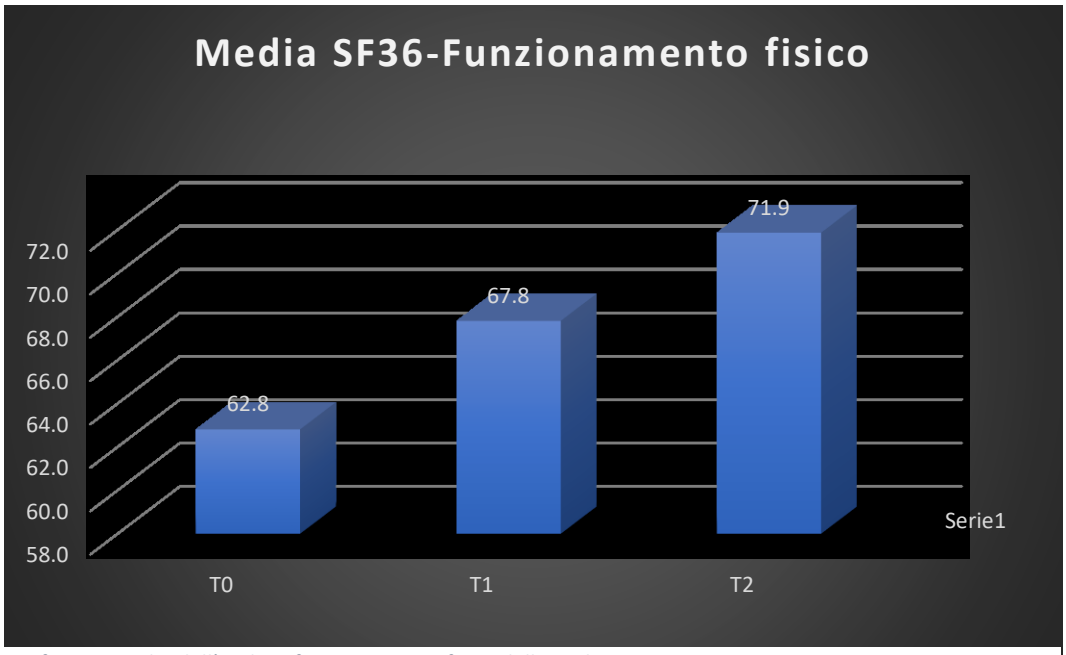
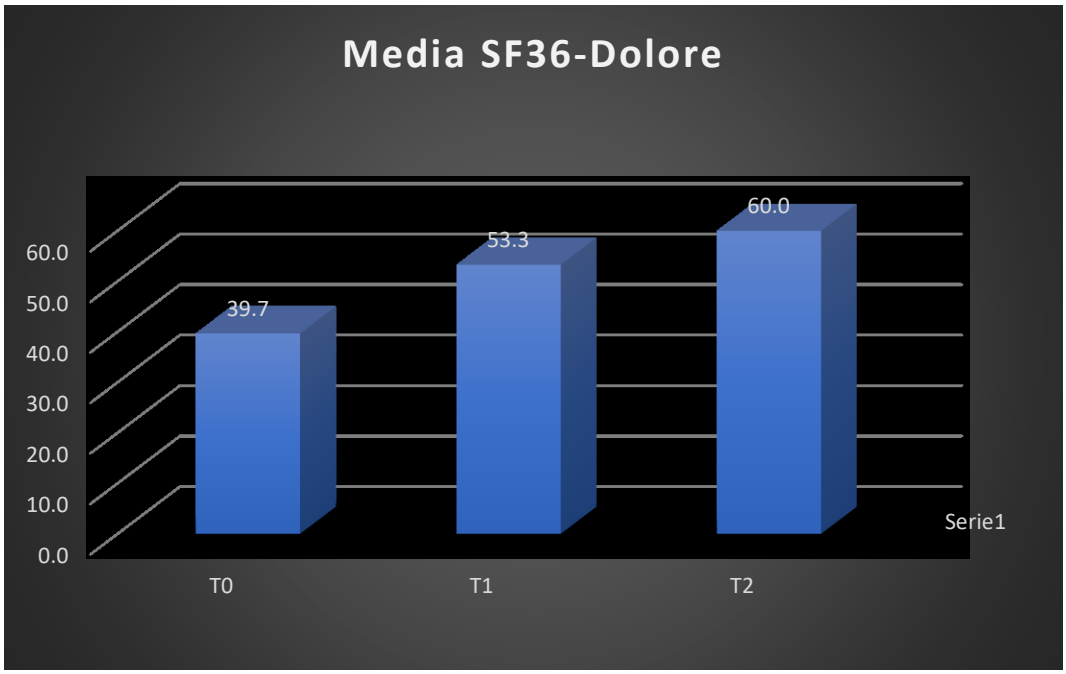


Grafico 14 Media dell'ambito funzionamento fisico della scala SF36 in tutti i pazienti

Anche l'ambito del dolore di questa scala conferma notevoli miglioramenti, come già documentato dalla scala NRS.



È

Grafico 15 – Media dell'ambito dolore della scala SF36 in tutti i pazienti

interessante analizzare anche l'ambito delle limitazioni dovute ai problemi emotivi, dove il valore medio parte da 60,4% prima del trattamento, per poi aumentare a 70,8% dopo la fine della laserterapia ed infine cresce ulteriormente a 72,9% dopo 5 mesi dalla fine del trattamento con laser.

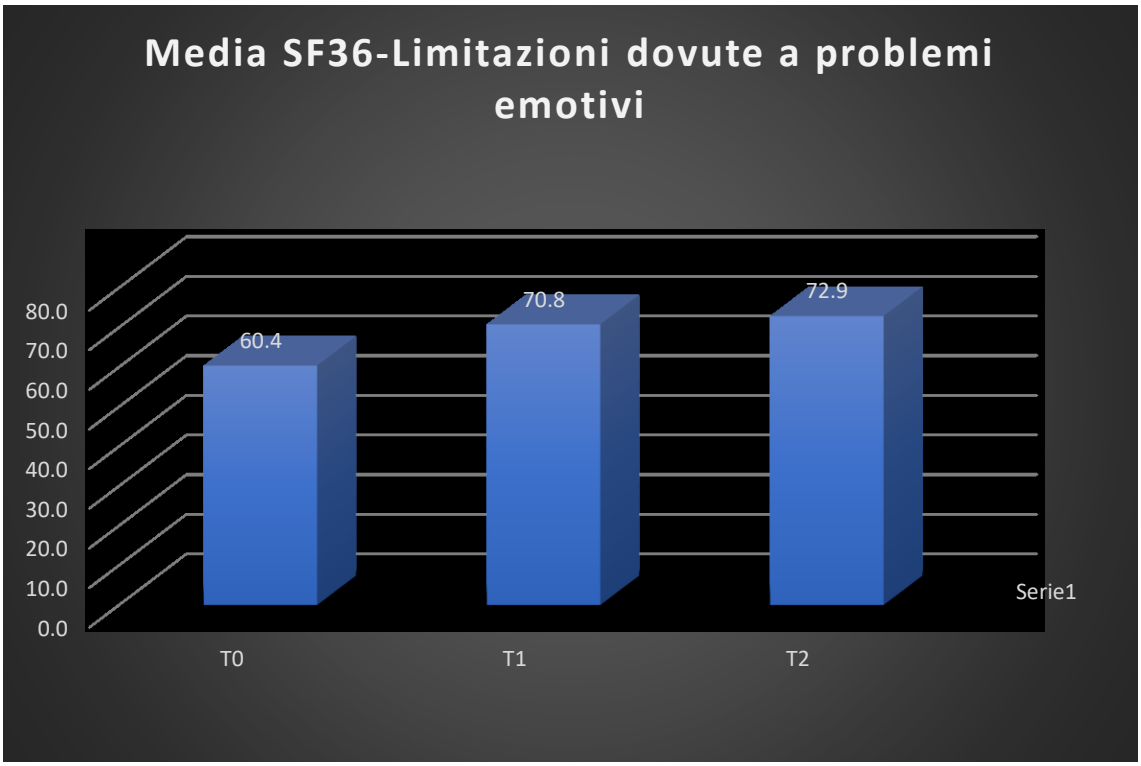


Grafico 16 – Media dell'ambito limitazioni dovute a problemi emotivi della scala SF36 in tutti i pazienti

Volendo distinguere i pazienti con problematiche al quadrante superiore rispetto a quelli con problemi al quadrante inferiore, è possibile notare come in media entrambi da T0 a T1 hanno avuto un miglioramento della qualità della vita, ma da T1 a T2 per i primi il punteggio è rimasto invariato, mentre per i secondi c'è stato un ulteriore miglioramento.

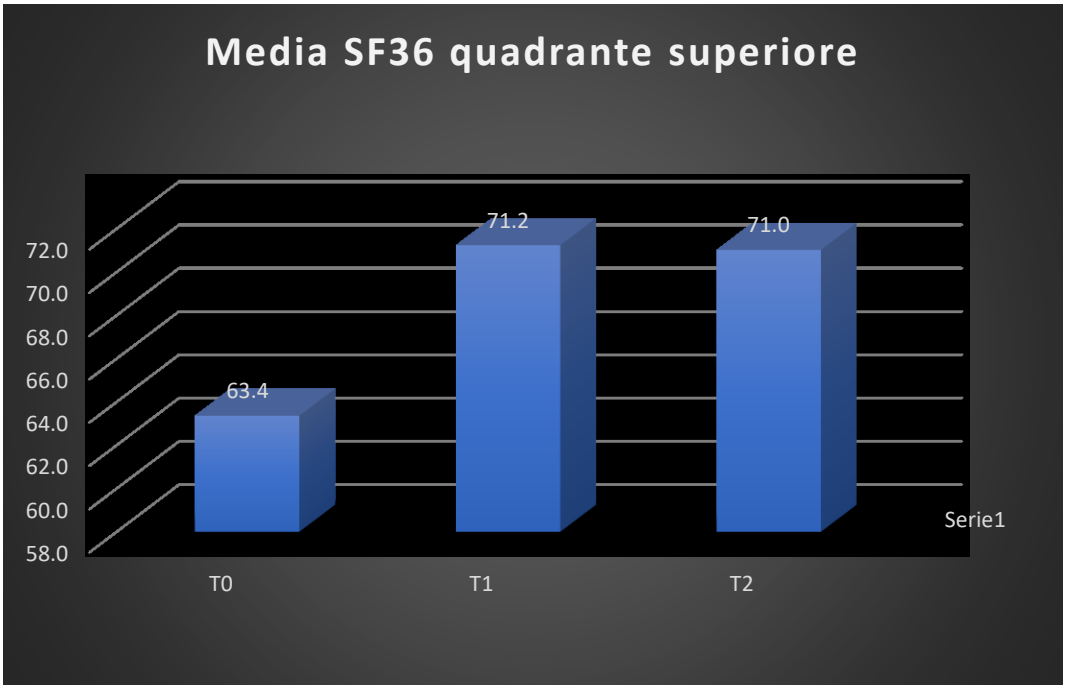


Grafico 17 – Media della scala SF36 in pazienti con patologie al quadrante superiore

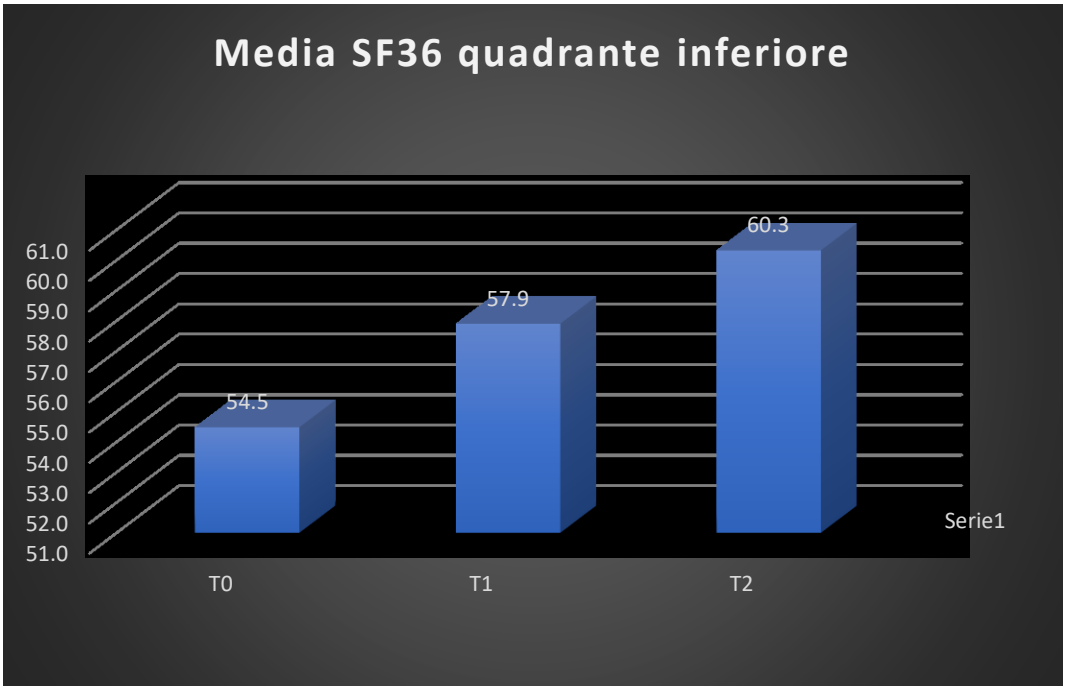


Grafico 18 – Media della scala SF36 in pazienti con patologie al quadrante inferiore

Nella distinzione tra chi ha fatto fisioterapia dopo il trattamento con il laser e chi non l'ha fatta emerge un altro dato importante: per quanto riguarda i primi, essi in media hanno avuto un miglioramento costante della qualità della vita da T0 a T1 e da T1 a T2. Parlando dei secondi, invece, c'è stato un miglioramento dopo la laserterapia, quindi da T0 a T1, ma nei 5 mesi successivi si è avuto un peggioramento che ha riportato la media della qualità di vita al punteggio iniziale.

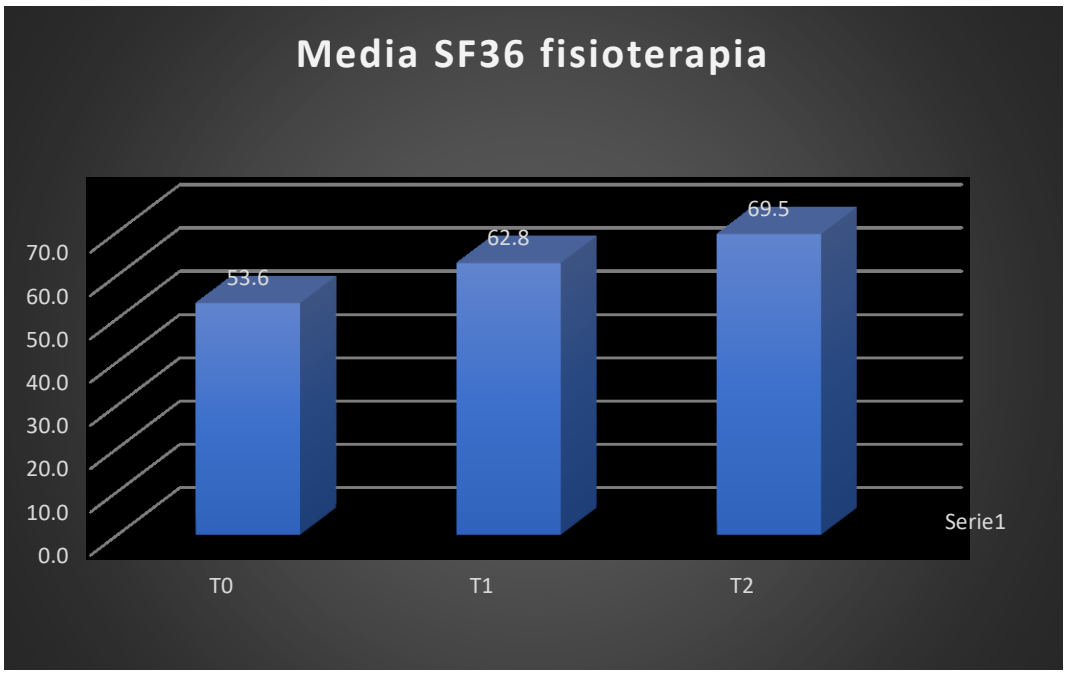


Grafico 19 – Media della scala SF36 in pazienti che hanno fatto fisioterapia dopo il laser

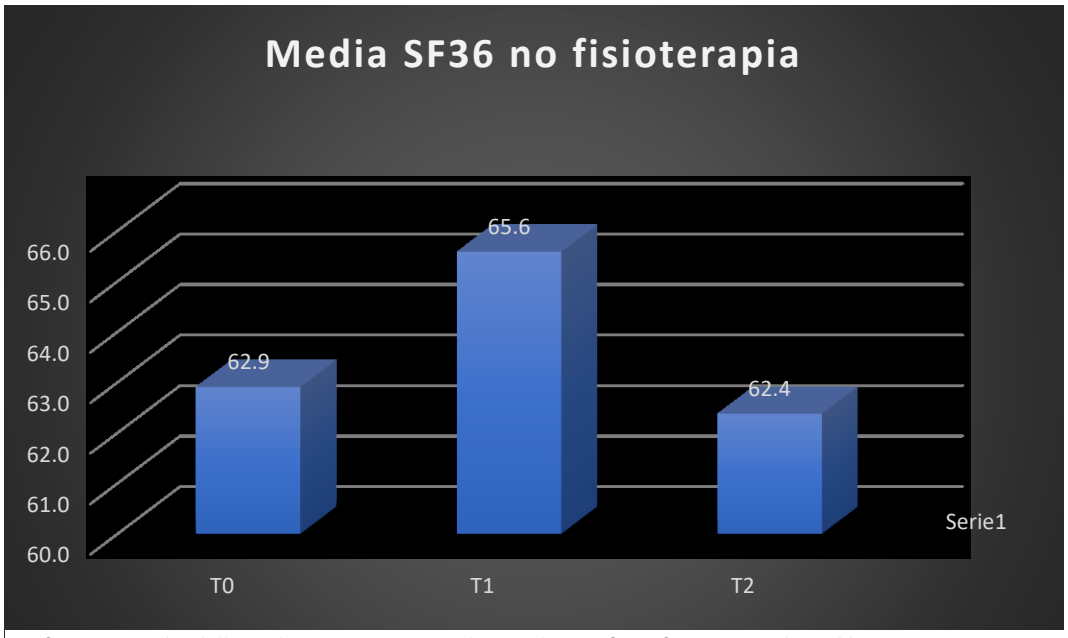


Grafico 20 - Media della scala SF36 in pazienti che non hanno fatto fisioterapia dopo il laser

È interessante analizzare il gruppo di pazienti con patologie muscolo-scheletriche agli arti superiori, dividendoli in chi ha fatto fisioterapia dopo il laser e chi non l'ha fatta. Infatti i primi hanno avuto in media un miglioramento della qualità della vita sia da T0 a T1 che da T1 a T2, mentre i secondi hanno avuto un miglioramento da T0 a T1, ma da T1 a T2 hanno avuto un peggioramento tale da portare la media del punteggio della qualità di vita ad un valore inferiore a quello di partenza prima dell'inizio del laser.

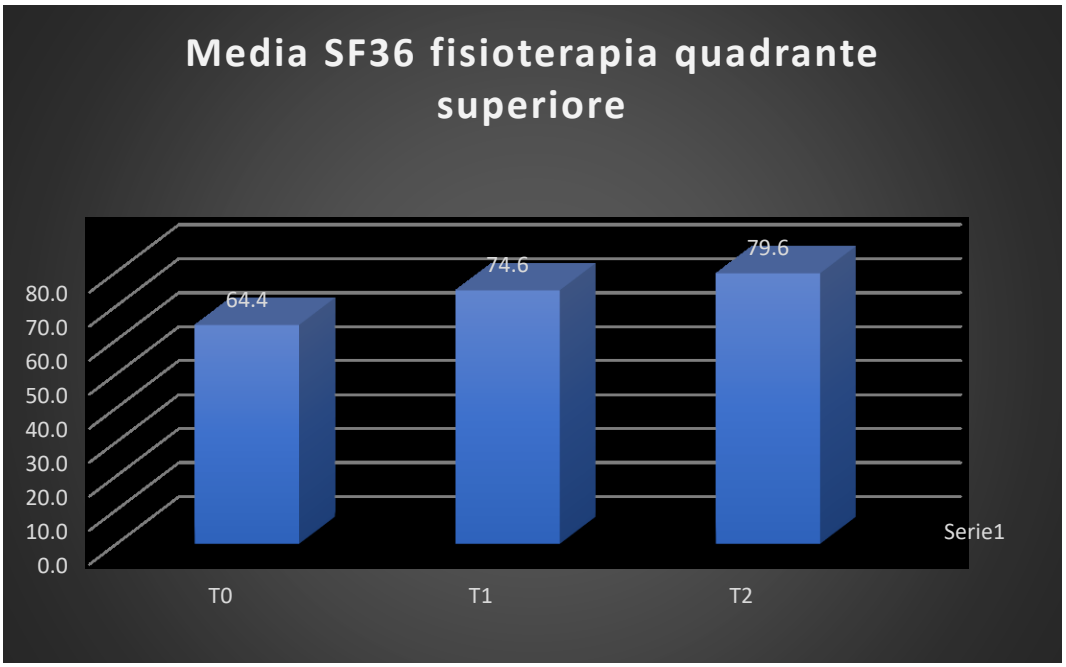


Grafico 21 – Media dell'SF36 in pazienti con patologie al quadrante superiore che hanno fatto fisioterapia

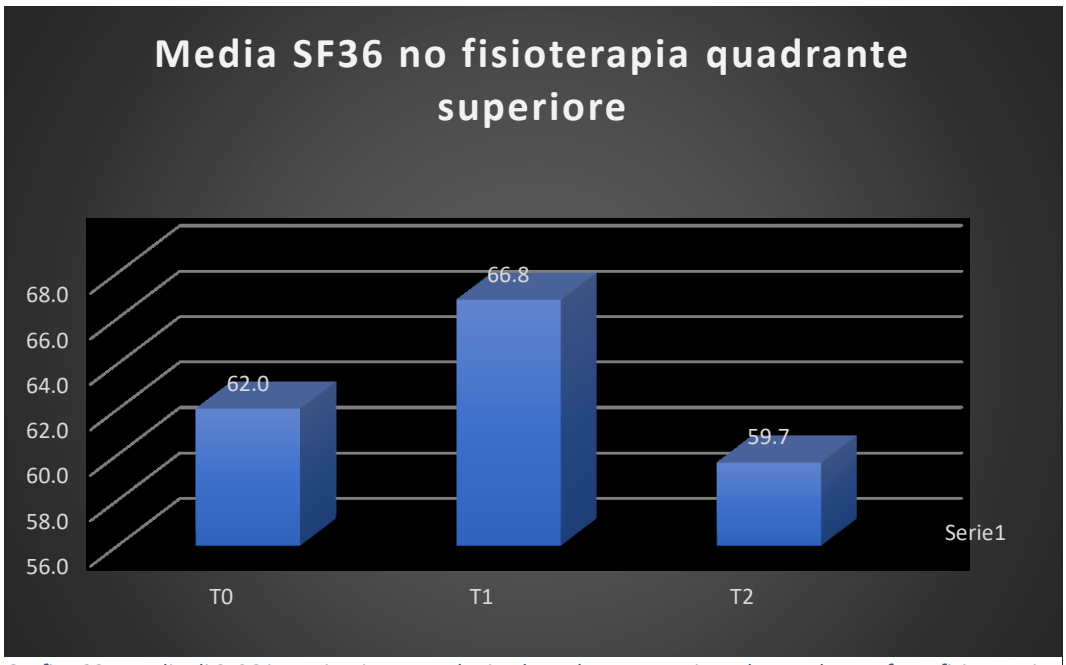


Grafico 22 - Media di SF36 in pazienti con patologie al quadrante superiore che non hanno fatto fisioterapia

Prendendo in considerazione gli stessi due gruppi appena citati, è interessante osservare in particolare l'ambito dell'SF36 inerente al benessere emotivo. Tra T0 e T1 i due gruppi presentano miglioramenti uguali tra loro, ma tra T1 e T2, quindi dopo la laserterapia, chi ha fatto fisioterapia ha avuto un ulteriore aumento del benessere emotivo, mentre chi non l'ha fatta ha avuto un evidente calo sotto questo punto di vista.

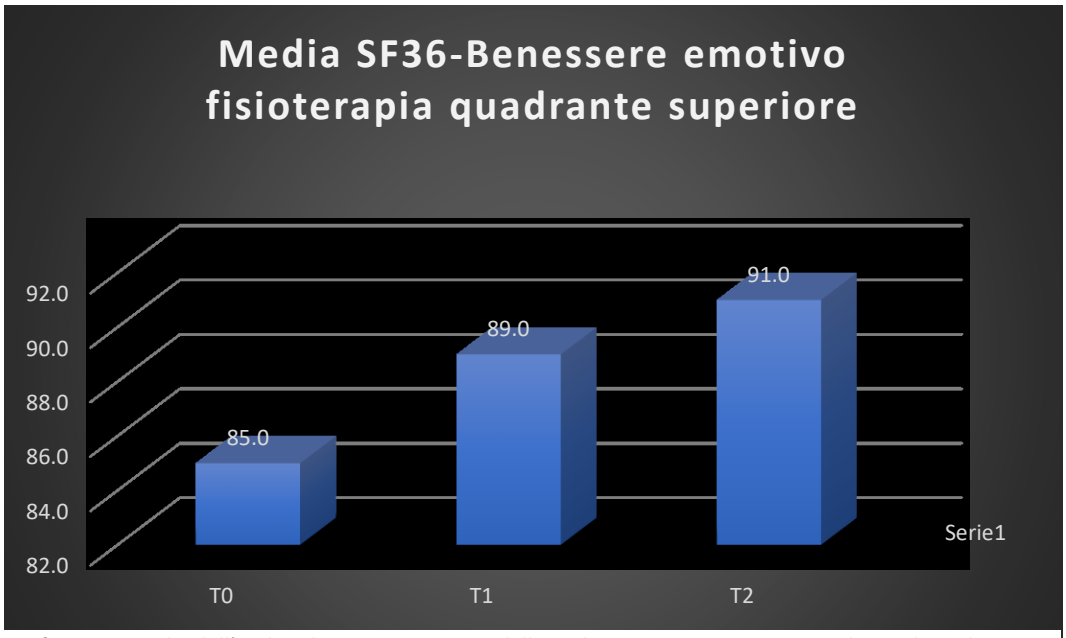


Grafico 23 – Media dell'ambito benessere emotivo della scala SF36 in pazienti con patologie al quadrante superiore che hanno fatto fisioterapia dopo il laser

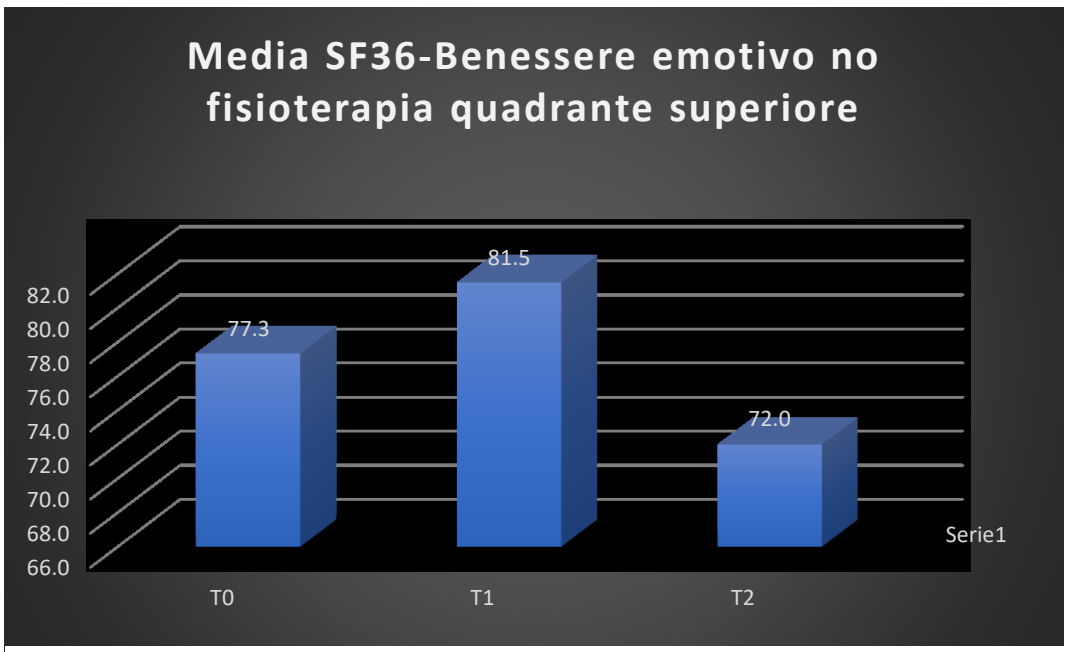


Grafico 24 - Media dell'ambito benessere emotivo della scala SF36 in pazienti con patologie al quadrante superiore che non hanno fatto fisioterapia dopo il laser

Anche per quanto riguarda il quadrante inferiore, se si divide la popolazione in studio tra chi ha fatto fisioterapia e chi no, si hanno risultati simili al quadrante superiore.

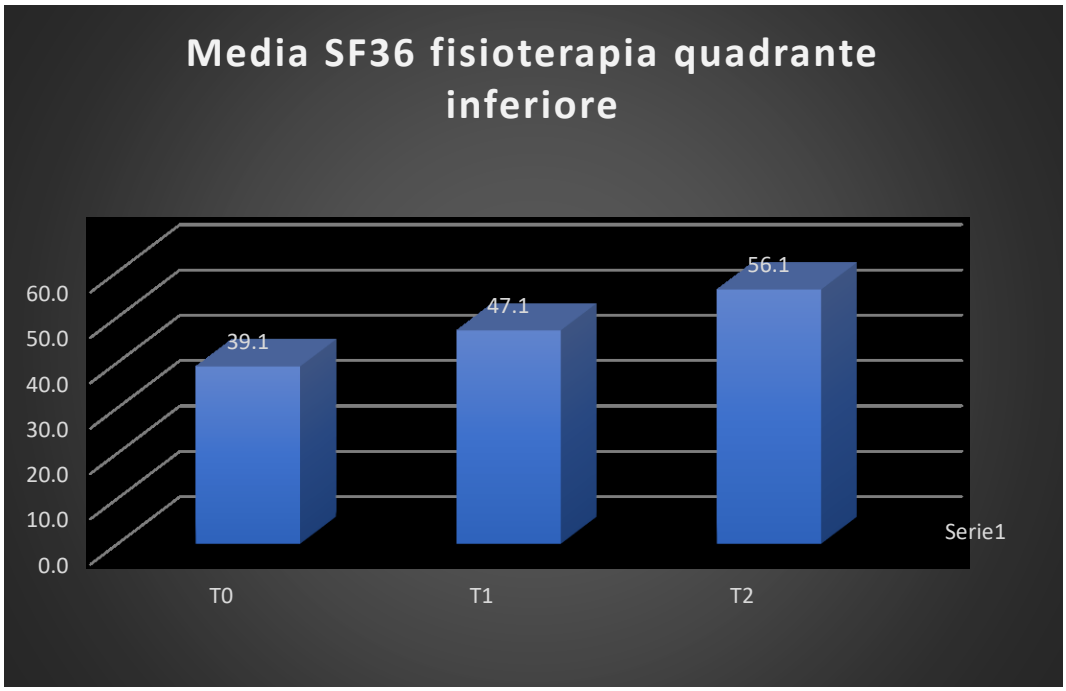


Grafico 25 – Media dell'SF36 in pazienti con patologie al quadrante inferiore che hanno fatto fisioterapia

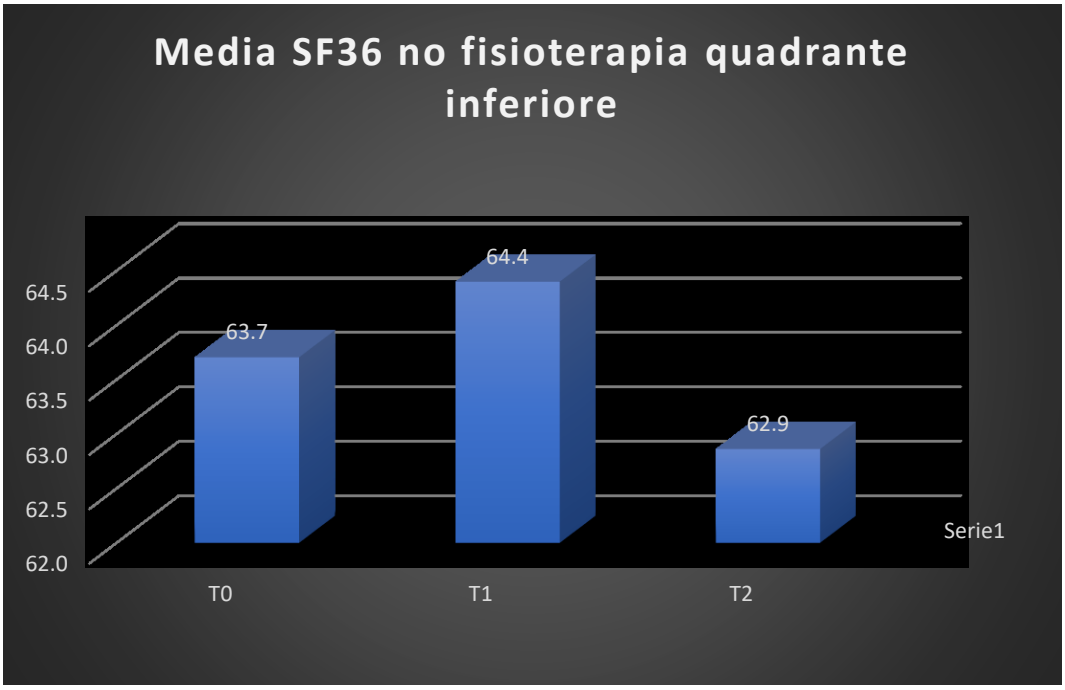


Grafico 26 - Media dell'SF36 in pazienti con patologie al quadrante inferiore che non hanno fatto fisioterapia

5. **DISCUSSIONE**

Lo scopo dello studio era quello di migliorare il dolore e la disabilità in disordini dell'apparato muscolo-scheletrico, indipendentemente dall'eziologia.

In questi quadri clinici è necessario somministrare una **terapia che possa lavorare contemporaneamente su ciascuno dei tessuti coinvolti**, ripristinando così lo specifico squilibrio biologico. Pertanto, lo scopo di questo studio clinico è quello di controllare in pazienti con problematiche muscolo-scheletriche acute e croniche l'efficacia terapeutica di questo tipo di Laserterapia ad Alta Energia, THEAL Therapy, a medio termine.

Il presente lavoro ha studiato specificamente l'influenza di diverse lunghezze d'onda della terapia laser ad alto livello di energia per il trattamento di patologie muscolo-scheletriche. Variando la lunghezza d'onda, all'interno della "finestra terapeutica" tra 650 nm e 1064 nm, è variabile anche la specificità del tessuto bersaglio, la profondità d'azione e la possibile interferenza dei cromofori sull'effetto clinico-terapeutico[32]. Gli effetti biologici di ciascuna lunghezza d'onda si sono dimostrati efficaci per la gestione di disordini muscolo-scheletrici.

[32] Lopes-Martins RA, Albertini R, Martins PS, Bjordal JM, Faria Neto HC. Spontaneous effects of low-level laser therapy (650 nm) in acute inflammatory mouse pleurisy induced by carrageenan. Photomed Laser Surg. 2005 Aug;23(4):377-81.

L'affinità tra laser a **650 nm** e collagene è responsabile dell'effetto antinfiammatorio sui tessuti connettivo e muscolare[33]. La riduzione della capacità di penetrazione dovuta all'interferenza dei cromofori, in particolare di melanina ed emoglobina, giustifica un'azione locale in superficie[34].

La terapia laser a **810 nm** ha una buona capacità di modulare le vie nocicettive[35]; a quest'onda lunghezza, il laser è in grado di raggiungere i tessuti in profondità diminuendone riassorbimento dei cromofori di melanina ed emoglobina[36].

Il laser a **1064 nm** è in grado di sviluppare un effetto antinfiammatorio sul tessuto muscolare, questo perché evita l'effetto scattering causato dai cromofori tissutali di melanina ed ossi-emoglobina, agendo così più profondamente[37].

Il miglioramento clinico riscontrato nei pazienti potrebbe essere interpretato come l'esito degli effetti di ciascuna lunghezza d'onda. La terapia laser a 650 nm induce un effetto antinfiammatorio, principalmente sul tessuto tendineo e muscolare. Quella da 810 nm recupera la fibra nervosa, che in questo tipo di problematiche viene irritata, garantendo un recupero funzionale; quindi induce una remissione del dolore con grande efficacia in termini di disabilità e di recupero. La laserterapia a 1064 nm agisce sulla superficie diminuendo la contrattura muscolare che è causa di rigidità dell'articolazione e ne limita i movimenti.

---

[33] Hamilton HK, Dover JS, Arndt KA. Successful treatment of disfiguring hemosiderin-containing hyperpigmentation with the Q-switched 650-nm wavelength laser. JAMA Dermatol. 2014 Nov;150(11):1221-2.

[34] Lopes-Martins RA, Albertini R, Martins PS, Bjordal JM, Faria Neto HC. Spontaneous effects of low-level laser therapy (650 nm) in acute inflammatory mouse pleurisy induced by carrageenan. Photomed Laser Surg. 2005 Aug;23(4):377-81.

[35] Byrnes KR, Waynant RW, Ilev IK, Wu X, Barna L, Smith K, Heckert R, Gerst H, Anders JJ. Light promotes regeneration and functional recovery and alters the immune response after spinal cord injury. Lasers Surg Med. 2005 Mar;36(3):171-85.

[36] Anderson PR. Cutaneous Laser Surgery. St. Louis, Missouri: Mosby Inc; Laser-Tissue Interactions. 1999;13–18.

[37] Anderson PR. Cutaneous Laser Surgery. St. Louis, Missouri: Mosby Inc; Laser-Tissue Interactions. 1999;13–18.

La differenza nella diminuzione del dolore tra pazienti con patologie al quadrante superiore e pazienti con patologie al quadrante inferiore è verosimilmente dovuto al fatto che il laser in punti come spalle e gomiti incontra meno barriere. Infatti in problematiche di anca o di ginocchio dove la muscolatura, il grasso e più in generale i tessuti molli sono presenti in maniera più consistente, per l'onda elettromagnetica è più difficile penetrare in profondità ed avere una efficacia rilevante. Per quanto riguarda le patologie dell'arto superiore, inoltre, esse danno spesso un dolore puntiforme che viene indicato in maniera precisa dal paziente. In questo caso il fisioterapista, utilizzando il manipolo mobile, può agire direttamente sul punto in modo specifico e di conseguenza efficace.

Il gruppo che ha fatto fisioterapia dopo il laser ha visto il proprio dolore diminuire ulteriormente, **il gruppo che non l'ha fatta**, invece, ha segnalato un aumento del dolore abbastanza importante. Questo è accaduto, probabilmente, perché in queste situazioni ci sono determinate tendenze fisiche che hanno portato ad un uso non corretto e non funzionale del proprio arto e più in generale del proprio corpo e ciò alla lunga porta all' evidenziarsi di questi problemi con dolore, infiammazione e limitazione della zona. In questi casi c'è bisogno anche di terapia manuale ed esercizi terapeutici volti a risolvere il problema alla radice, cercando di capire quali sono le scorrette abitudini e tendenze della persona che hanno portato al problema e di conseguenza dare consigli utili per alleviare il carico durante tutte le attività di vita quotidiana anche sul posto di lavoro.

Prendendo in considerazione solo le persone con problemi all'**arto superiore**, la **differenza tra chi ha fatto fisioterapia** dopo le sedute con il laser **e chi non l'ha fatta** è stata molto marcata e questo è visibile sia nell'andamento del dolore, che della qualità della vita, ma soprattutto della funzionalità misurata con la scala DASH. Tutto ciò è facilmente spiegabile con il fatto che la fisioterapia lavora molto sull'aspetto del recupero della funzionalità e se pensiamo alle attività della vita quotidiana, i gesti compiuti con gli arti superiori sono più fini e sono tanti, quindi in questi casi la fisioterapia tramite la terapia manuale e l'esercizio terapeutico può fare la differenza.

Per quanto riguarda la **qualità della vita**, i pazienti con problemi al **quadrante inferiore**, risultano avere un punteggio medio inferiore già dal T0 ma con un miglioramento più costante rispetto alle persone con patologie agli **arti superiori**. Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che la scala SF36 tiene molto in considerazione le componenti emotiva e sociale, che in una persona che ha problemi agli arti inferiori possono essere più facilmente intaccati. Basti pensare al fatto che molte delle attività sociali vengono svolte fuori dalla propria abitazione e chi ha problemi con la deambulazione o più in generale con gli spostamenti è maggiormente penalizzato. In compenso variazioni cliniche positive anche se non sostanziali, come in questo caso, possono fornire all'individuo un'ulteriore motivazione per spostarsi dalla propria abitazione e vivere la propria vita sociale. Inoltre bisogna tenere in considerazione che coloro che partono da una qualità di vita più bassa, a parità di miglioramento clinico, avranno giovamenti maggiori rispetto a chi ha come punto di partenza una qualità della vita superiore.

La differenza tra il gruppo di laserterapia + fisioterapia e quello solo della laserterapia è evidente anche nei punteggi medi inerenti alla **qualità della vita** ed è ancora più marcata se consideriamo solamente la popolazione in studio con patologie al quadrante superiore. A questo proposito, se entrambi i gruppi hanno avuto un buon aumento di punteggio medio tra T0 e T1, ovvero tra prima e dopo la laserterapia, le cose cambiano tra T1 e T2 a 5 mesi dalla terapia laser. Infatti coloro che hanno fatto anche fisioterapia, hanno mostrato evidenti miglioramenti di punteggio nella SF36, mentre chi non ha svolto queste sedute è risultato avere un significativo calo. Il motivo di questa diversità è verosimilmente riconducibile al fatto che quando si parla di un'articolazione come quella della spalla, che fisiologicamente è la più mobile del corpo, se si hanno importanti limitazioni nei gradi di mobilità, è necessaria la fisioterapia che andrà ad agire in maniera anche meccanica. In questo modo si ottengono importanti risultati dal punto di vista riabilitativo e la persona potrà tornare a svolgere attività che prima era stata costretta ad interrompere, sentendosi così nuovamente in una situazione di benessere.

Inoltre la differenza nel **benessere emotivo tra chi ha svolto anche sedute di fisioterapia e chi no in pazienti con problematiche al quadrante superiore** è stata significativa, questo è indice di come un trattamento con un importante impatto fisico come quello fisioterapico, faccia sentire il paziente ancora più preso in carico e fiducioso verso la propria guarigione e ciò incide positivamente sulla psiche della persona.

In generale i miglioramenti clinici dopo il laser si sono sicuramente visti su tutti i pazienti, infatti per tutti gli indicatori di risultato si è notato un miglioramento da T0 a T1. La situazione cambia se teniamo in considerazione gli stessi indicatori tra T1 e T2: mentre chi ha fatto fisioterapia ha avuto ulteriori miglioramenti in tutti gli outcome, in coloro che non hanno abbinato il trattamento di fisioterapia dopo il laser, si è notato un peggioramento del dolore e della qualità della vita in certi casi più evidente ed in altri meno. Tutto ciò conferma che l'azione indotta da questa terapia è in grado di reimpostare i meccanismi infiammatori responsabili del dolore e della disabilità, ma sottolinea anche che è bene abbinare un trattamento di fisioterapia con terapia manuale ed esercizi attivi.

6. CONCLUSIONI

L'evidenza clinica riscontrata dimostra che la simultanea somministrazione di lunghezze d'onda multiple, è una strategia vincente, perché permette di sfruttare i benefici degli effetti biologici di ciascuna lunghezza d'onda.

Inoltre per il tipo di trattamento applicato, potremmo parlare di **fisioterapia "di precisione"**, dove i protocolli vengono rispettati ma allo stesso tempo sono modellati in base al contesto bio-psico-sociale del paziente. Questo è possibile grazie al professionista, che deve conoscere gli elementi costitutivi e gli effetti applicabili con questo macchinario, che è in grado di erogare la laserterapia in maniera personalizzata.

Il fisioterapista deve essere in grado di seguire il protocollo di terapia strumentale, terapia manuale e le diverse tipologie e dosaggi di esercizio terapeutico, declinandolo sulle caratteristiche specifiche di ogni paziente. Egli, inoltre, deve essere educatore e promotore di uno stile di vita sano e attivo, fornendo indicazioni su esercizi da far fare al paziente in autonomia a casa e deve essere in grado di dare consigli posturali personalizzati affinché le strutture che il paziente aveva stressato, sovraccaricato e mandato in sofferenza non causino altri problemi di natura muscolo-scheletrica.

Un grosso vantaggio di questo laser è rappresentato dalla dotazione di un **manipolo mobile** che permette di sparare la luce laser nei punti voluti in maniera comoda e mutevole durante il trattamento. In questo il macchinario si differenzia dai laser fissi che oltre ad essere puntati in una sola direzione durante il trattamento, rendono quest'ultimo più impersonale.

Un altro punto a favore di questo macchinario è la presenza del **controllo termico**, che permette di trattare pazienti in fase acuta, che presentano livelli di dolore molto elevati. Inoltre in questo modo è permesso anche il trattamento di persone con un fototipo particolarmente scuro e persone che presentano tatuaggi, perché senza questo tipo di tecnologia questi soggetti andrebbero incontro ad ustioni.

Un punto di forza del trattamento è anche la **non invasività** e quindi l'**alto grado di accettabilità da parte del paziente**, aspetto da non sottovalutare soprattutto in persone particolarmente timorose o con una bassa soglia del dolore.

Le persone con queste problematiche fanno solitamente un uso massivo di farmaci **antidolorifici** che, se assunti abitudinariamente, portano ad assuefazione; il paziente, infatti, vedendo che l'effetto terapeutico cala progressivamente, tende ad assumerne in quantità sempre maggiori. La laserterapia in questo caso potrebbe risultare una valida **alternativa a** questi **farmaci**, permettendo se non altro una diminuzione nell'assunzione di essi. In futuro sarebbe interessante osservare l'andamento del dolore riducendo la quantità di farmaco assunta.

Ulteriori progressi in questo campo possono essere compiuti aggiungendo a T0, T1 e T2 esami di imaging, o analisi che siano in grado di mostrare il livello di infiammazione del tessuto locale, in modo da avere un quadro più completo della situazione.

I limiti di questo studio sono rappresentati dallo scarso numero della popolazione in studio, dovuto al limitato tempo a disposizione ed i pochi follow-up presenti, rappresentati unicamente dalla tempistica a 5 mesi.

Per aumentare la validità dello studio e renderlo più accurato si potrebbe aumentare il numero dei pazienti e di conseguenza la casistica per ogni singola patologia. Inoltre si potrebbero aumentare i follow-up, per monitorare meglio l'andamento delle patologie nel tempo. Sarebbe poi utile secondo il mio parere impostare protocollo di mantenimento e gestione tramite teleriabilitazione per aggiornare costantemente gli esercizi da svolgere a casa assegnati al paziente e la sua condizione clinica; questo potrebbe essere anche un modo per motivare maggiormente il paziente ed aumentare la sua aderenza al piano riabilitativo.

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

[1] Al-Shammari AM, Syhood Y, Al-Khafaji AS. Use of low-power He-Ne laser therapy to accelerate regeneration processes of injured sciatic nerve in rabbit. Egypt J Neurol Psychiatr Neurosurg. 2019;55(1):1.

[2] Torres-Silva R, Lopes-Martins RA, Bjordal JM, Frigo L, Rahouadj R, Arnold G, Leal-Junior EC, Magdalou J, Pallotta R, Marcos RL. The low level laser therapy (LLLT) operating in 660 nm reduce gene expression of inflammatory mediators in the experimental model of collagenase-induced rat tendinitis. Lasers Med Sci. 2015 Sep;30(7):1985-90.

[3] Khalighi HR, Mortazavi H, Mojahedi SM, Azari-Marhabi S, Moradi Abbasabadi F. Low Level Laser Therapy Versus Pharmacotherapy in Improving Myofascial Pain Disorder Syndrome. J Lasers Med Sci. 2016 Winter;7(1):45-50.

[4] Assis L, Moretti AI, Abrahão TB, de Souza HP, Hamblin MR, Parizotto NA. Low-level laser therapy (808 nm) contributes to muscle regeneration and prevents fibrosis in rat tibialis anterior muscle after cryolesion. Lasers Med Sci. 2013 May;28(3):947-55.

[5] Liu, X, Cheng, L, Song J. Effects of Low-Level Laser Therapy and Eccentric Exercises in the Treatment of Patellar Tendinopathy. International Journal of Photoenergy, 2014

[6] [22] Osti R, Pari C, Salvatori G, Massari L. Tri-length laser therapy associated to tecar therapy in the treatment of low-back pain in adults: a preliminary report of a prospective case series. Lasers Med Sci. 2015 Jan;30(1):407-12.

[7] Notarnicola A, Solarino G, Covelli I, Rifino F, Moretti B. Temperature Controlled High Energy Adjustable Multi-Mode Emission Laser Therapy in the Treatment of the Chronic Low Back Pain. Am J Arthritis Res. 2018; 2(1): 1010.

[8] Karu TI. Multiple roles of cytochrome c oxidase in mammalian cells under action of red and IR-A radiation. IUBMB Life. 2010 Aug;62(8):607-10.

[9] Mason MG, Nicholls P, Cooper CE. Re-evaluation of the near infrared spectra of mitochondrial cytochrome c oxidase: Implications for non invasive in vivo monitoring of tissues. Biochim Biophys Acta. 2014 Nov;1837(11):1882-1891.

[10] Farivar S, Malekshahabi T, Shiari R. Biological effects of low level laser therapy. J Lasers Med Sci. 2014 Spring;5(2):58-62.

[11] Karu TI, Pyatibrat LV, Afanasyeva NI. Cellular effects of low power laser therapy can be mediated by nitric oxide. Lasers Surg Med. 2005 Apr;36(4):307-14.

[12] Passarella S, Karu T. Absorption of monochromatic and narrow band radiation in the visible and near IR by both mitochondrial and non-mitochondrial photoacceptors results in photobiomodulation. J Photochem Photobiol B. 2014 Nov;140:344-58.

[13] Frigo L, Fávero GM, Lima HJ, Maria DA, Bjordal JM, Joensen J, Iversen VV, Marcos RL, Parizzoto NA, Lopes-Martins RA. Low-level laser irradiation (InGaAlP-660 nm) increases fibroblast cell proliferation and reduces cell death in a dose-dependent manner. Photomed Laser Surg. 2010 Aug;28 Suppl 1:S151-6.

[14] Pires D, Xavier M, Araújo T, Silva JA Jr, Aimbire F, Albertini R. Low-level laser therapy (LLLT; 780 nm) acts differently on mRNA expression of anti- and pro-inflammatory mediators in an experimental model of collagenase-induced tendinitis in rat. Lasers Med Sci. 2011 Jan;26(1):85-94.

[15] Wakabayashi H, Hamba M, Matsumoto K, Tachibana H. Effect of irradiation by semiconductor laser on responses evoked in trigeminal caudal neurons by tooth pulp stimulation. Lasers Surg Med. 1993;13(6):605-10.

[16] Allen RJ. Physical agents used in the management of chronic pain by physical therapists. Phys Med Rehabil Clin N Am. 2006 May;17(2):315-45.

[17] Nicolau RA, Martinez MS, Rigau J, Tomàs J. Neurotransmitter release changes induced by low power 830 nm diode laser irradiation on the neuromuscular junctions of the mouse. Lasers Surg Med. 2004;35(3):236-41.

[18] Hashmi JT, Huang YY, Sharma SK, Kurup DB, De Taboada L, Carroll JD, Hamblin MR. Effect of pulsing in low-level light therapy. Lasers Surg Med. 2010 Aug;42(6):450-66.

[19] Karu T.I., L.V. Pyatibrat, G.S. Kalendo, Studies into the action specifics of a pulsed GaAlAs laser (λ = 820 nm) on a cell culture. I. Reduction of the intracellular ATP concentration: dependence on initial ATP amount, Lasers Life Sci., 2001, 9, 203–210.

[20] Notarnicola A, Maccagnano G, Tafuri S, Forcignanò MI, Panella A, Moretti B. CHELT therapy in the treatment of chronic insertional Achilles tendinopathy. Lasers Med Sci. 2014 May;29(3):1217-25.

[21] Notarnicola A, Maccagnano G, Tafuri S, Gallone MF, Moretti L, Moretti B. High level laser therapy for the treatment of lower back pain: clinical efficacy and comparison of different wavelengths. J Biol Regul Homeost Agents. 2016 Oct-Dec;30(4):1157-1164.

[23] Fiore P, Panza F, Cassatella G, Russo A, Frisardi V, Solfrizzi V, Ranieri M, Di Teo L, Santamato A. Short-term effects of high-intensity laser therapy versus ultrasound therapy in the treatment of low back pain: a randomized controlled trial. Eur J Phys Rehabil Med. 2011 Sep;47(3):367-73.

[24] Manchikanti L, Hirsch JA. An update on the management of chronic lumbar discogenic pain. Pain Manag. 2015 Sep;5(5):373-86.

[25] [34] Hamilton HK, Dover JS, Arndt KA. Successful treatment of disfiguring hemosiderin-containing hyperpigmentation with the Q-switched 650-nm wavelength laser. JAMA Dermatol. 2014 Nov;150(11):1221-2.

[26] [33] [35] Lopes-Martins RA, Albertini R, Martins PS, Bjordal JM, Faria Neto HC. Spontaneous effects of low-level laser therapy (650 nm) in acute inflammatory mouse pleurisy induced by carrageenan. Photomed Laser Surg. 2005 Aug;23(4):377-81.

[27] [36] Byrnes KR, Waynant RW, Ilev IK, Wu X, Barna L, Smith K, Heckert R, Gerst H, Anders JJ. Light promotes regeneration and functional recovery and alters the immune response after spinal cord injury. Lasers Surg Med. 2005 Mar;36(3):171-85.

[28] [37] [38] Anderson PR. Cutaneous Laser Surgery. St. Louis, Missouri: Mosby Inc; Laser-Tissue Interactions. 1999;13–18.

[29] https://www.dors.it/documentazione/testo/201802/MSD_Derrico.pdf

[30] https://www.bag.admin.ch/bag/it/home/krankheiten/krankheiten-im-ueberblick/erkrankungen-bewegungsapparat.html

[31] Mallen CD, Peat G. Screening older people with musculoskeletal pain for depressive symptoms in primary care. Br J Gen Pract. 2008 Oct;58(555):688-93.

[32] Tyrovolas S, Moneta V, Giné Vázquez I, Koyanagi A, Abduljabbar AS, Haro JM. Mental Disorders, Musculoskeletal Disorders and Income-Driven Patterns: Evidence from the Global Burden of Disease Study 2017. J Clin Med. 2020 Jul 10;9(7):2189.

8. RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la mia relatrice dott.ssa Giovanna Censi per la pazienza ed il tempo dedicatomi durante tutto questo percorso. Un ringraziamento inoltre, per essere stati un fondamentale aiuto in questi tre anni sia dal punto di vista personale che tecnico-lavorativo, a tutti i tutor e le tutor del corso di fisioterapia, in particolare la dott.ssa Paola Casoli e la dott.ssa Cristina Brunelli e tutte le guide di tirocinio.

Ringrazio inoltre per la disponibilità tutto il reparto di Medicina Riabilitativa dell'Azienda Ospedaliera Ospedali Riuniti di Ancona diretto dal Dottor Maurizio Ricci, in particolare la mia correlatrice dott.ssa Silvia Rossi e tutti i fisioterapisti, la coordinatrice dott.ssa Antonella Carbonetti, tutti i medici, le infermiere ed infermieri.

Ringrazio sentitamente la dott.ssa Cristina Ferroni, Amministratore unico e Responsabile Commerciale Area Riabilitazione presso Tecnomedical srl, per avermi aiutato in molti aspetti tecnici inerenti al macchinario ed essere stata sempre disponibile e collaborativa nei miei confronti.

Ringrazio i miei compagni di corso perché sono stati un motivo di confronto nei momenti del bisogno, oltre che un motivo di svago e divertimento.

Ringrazio, infine, tutta la mia famiglia e tutti i miei amici perché sono stati un supporto costante e per essere stati fondamentali nella la mia crescita personale, soprattutto in questi ultimi anni.