

## ARTICOLO

## Info Autori :

<sup>1</sup> Direttore Centro Gestione Rischio Clinico Regione Toscana<sup>2</sup> Ing. Biomedico Centro di Flebologia e Biomeccanica Posturale, Livorno<sup>3</sup> Medico Legale presso Azienda USL Toscana Sud Est, Arezzo**Pasquale Giuseppe Macrì<sup>1</sup>, Marco Bernardini<sup>2</sup>, Federico Manetti<sup>3</sup>**

## Parole chiave:

analisi movimento, biomeccanica posturale,  
valutazione medico-legale**L'UTILITÀ DELL'ANALISI DEL MOVIMENTO E DELLA BIOMECCANICA POSTURALE IN CAMPO MEDICO LEGALE****RIASSUNTO**

Il fulcro della valutazione medico-legale su vivente è costituito dallo studio delle ripercussioni funzionali delle lesioni riportate dal soggetto.

La valutazione delle menomazioni viene effettuata, in linea generale, sulla scorta delle risultanze dell'obiettività medico-legale e delle attestazioni documentali, che sovente lasciano ampio spazio di interpretazione relativamente alle effettive limitazioni del soggetto.

Per esempio, il riscontro di una riduzione della mobilità passiva di un'articolazione, di una dismetria, o di una riferita dolorabilità, potranno solo in maniera approssimativa stimare il riflesso funzionale che dovrebbe guidare la valutazione. E' proprio in questo frangente, e nello specifico nello studio delle menomazioni che riguardano (direttamente o indirettamente) l'apparato locomotore, che la biomeccanica posturale può trovare una sua concreta e preziosa applicazione. Infatti, grazie all'analisi biomeccanica della postura e del movimento, è possibile ricercare e documentare gli aspetti menomativi, e produrre evidenze di importante sostegno probatorio.

Per questo motivo, un laboratorio di analisi del movimento umano, gestito dalla figura dell'ingegnere biomedico, esperto in biomeccanica posturale, può essere di fondamentale importanza al fine di ottenere un giusto risarcimento.

Attraverso l'utilizzo di strumentazioni di ultima generazione, è possibile integrare la perizia medico legale con dati biometrici e in generale biomedici quantificabili e quindi oggettivi; l'effettuazione di opportuni esami in ambito biomeccanico

posturale ed analisi del movimento offre un quadro scientificamente più accurato dell'intero complesso di danni subiti.

Inoltre, è talora possibile anche ricostruire la dinamica di infortuni sul lavoro o stradali, creando modelli ad hoc con l'utilizzo di software di alto livello, al fine di determinare la sussistenza di nesso di causalità, nel modo più accurato possibile.

Tradotto in termini economici, la perizia biomeccanica posturale, correlata all'occorrenza ad una modellizzazione/simulazione digitale dell'incidente, sarà di ausilio alla perizia medico-legale, consentendo il riconoscimento di un congruo risarcimento del danno. Per chiarire meglio il concetto, per perizia biomeccanica posturale si intende un'analisi biomeccanica della postura e del movimento, attraverso l'effettuazione di vari test strumentali con elaborazione, correlazione e valutazione dei dati.

L'utilizzo di certe strumentazioni, l'analisi dei dati biomedici, e la loro interpretazione, hanno bisogno di specifiche competenze e conoscenze in diversi ambiti, tra cui quello ingegneristico e quello medico.

Sappiamo che la postura è una materia multidisciplinare, che interessa moltissimi professionisti come l'ortopedico, il fisiatra, il dentista, il fisioterapista, l'osteopata, il podologo, l'oculista, l'ortottista, il logopedista, il chinesologo, il preparatore atletico ecc...

Adattamenti posturali possono essere causati da interferenze del sistema tonico posturale, ma anche essere secondari a problematiche "strutturali" dovute ad infortuni, incidenti ed interventi chirurgici.

Una perizia biomeccanica posturale può costituire, oltre alla classica diagnostica per immagini, una fondamentale integrazione alla visita medico legale dal punto di vista funzionale che prima non era possibile, al fine di garantire l'acquisizione di importanti evidenze per finalità probatorie, così come un prezioso strumento nell'ambito della pratica clinica e riabilitativa.

Dunque, un laboratorio di analisi del movimento umano e di biomeccanica posturale, provvisto di strumenti ad alta tecnologia e gestito dall'ingegnere biomedico specializzato, oggettiva, sulla base di evidenze scientifiche, i reali deficit funzionali, e consente al medico legale di formulare con maggiore accuratezza, il giusto nesso causale con l'evento subito dall'assistito.

Per concludere, in questo capitolo sono stati proposti alcuni casi dove vengono mostrate alcune tipologie di indagine nella valutazione del danno funzionale con il supporto della letteratura scientifica che aiuta a capire il nesso di casualità.

## ABSTRACT

The fulcrum of the medical-legal evaluation on living beings is the study of the functional repercussions of the injuries sustained by the subject. The evaluation of impairments is carried out, in general, on the basis of the findings of medico-legal objectivity and documentary evidence, which often leave ample room for interpretation regarding the actual limitations of the subject.

For example, the finding of a reduction in the passive mobility of a joint, of a dysmetria, or of a reported tenderness, will only be able to approximately estimate the functional reflex that should guide the evaluation. It is precisely in this situation, and specifically in the impairments study concerning (directly or indirectly) the locomotor system, that postural biomechanics can find concrete and valuable application. In fact, thanks to the biomechanical analysis of posture and movement, it is possible to research and document the impairment aspects, and produce evidence of important evidential support. For this reason, a human movement analysis laboratory, managed by a biomedical engineer, expert in postural biomechanics, can be fundamental in order to obtain fair compensation.

Through the use of latest generation instruments and so performing appropriate biomechanical tests and analyzing the human movement motion, it is possible integrate the medical-legal assessment with quantifiable biomedical data with the result to have more scientifically accurate picture of the entire complex of damages suffered.

Furthermore, it is sometimes also possible to reconstruct the dynamics of accidents at work or on the road, creating ad hoc models with the use of high-level software, in order to determine the existence of a causal relationship, in the most accurate possible way.

In economic terms, the postural biomechanical tests, if necessary correlated with a digital modelling/simulation of the accident, will help the legal doctor assessment, allowing the recognition of adequate compensation for the damage.

To have a better conception, postural biomechanical expertise means a biomechanical analysis of posture and movement, through the performance of various instrumental tests with data processing, correlation and evaluation.

The use of certain instruments, the analysis of biomedical data, and their interpretation require specific skills and knowledge in various fields, including engineering and medicine.

Posture is a multidisciplinary subject, which affects many professionals such as the orthopaedist, the physiatrist, the dentist, the physiotherapist, the osteopath, the podiatrist, the ophthalmologist, the orthoptist, the speech therapist, the kinesiologist, the trainer athletic etc...

Postural adaptations can be caused by interference of the postural tonic system, but can also be secondary to “structural” problems due to injuries, accidents and surgical interventions.

A postural biomechanical assessment can constitute, in addition to classic diagnostic imaging, a fundamental integration to the medical-legal examination from a functional point of view which was not previously possible, in order to guarantee the acquisition of important evidence for evidentiary purposes, as well as a precious tool in clinical and rehabilitation practice.

Therefore, a laboratory for the analysis of human movement and postural biomechanics, equipped with high-tech instruments and managed by a specialized biomedical engineer, objectively, on the basis of scientific evidence, the real functional deficits, and allows the forensic doctor to formulate with greater accuracy, the correct causal link with the event suffered by the patient.

To conclude, in this chapter some cases have been proposed where some types of investigations are shown in the evaluation of functional damage with the support of scientific literature which helps to understand the causal link.

## INTRODUZIONE

### UTILITÀ DI UN LABORATORIO DI ANALISI DEL MOVIMENTO UMANO NELLA MEDICINA LEGALE IN CAMPO INFORTUNISTICO E DI RESPONSABILITÀ MEDICA

La valutazione del danno alla persona è un ambito che riveste un ruolo di centrale importanza nella quotidiana attività del medico legale, trovando ampio campo di applicazione della maggior parte delle branche della disciplina. Infatti, rientra nella sfera di competenza medico-legale qualsivoglia valutazione inerente la lesione dell'integrità psicofisica del soggetto, così come la sua temporanea compromissione.

Prendendo ad esempio la branca civilistica, il danno risarcibile a seguito di un determinato evento di interesse medico legale (quale un sinistro del traffico stradale, un incidente domestico o un caso di malpractice medica) può essere distinto in danno patrimoniale e danno non patrimoniale. Il danno patrimoniale consiste nella lesione di un interesse patrimoniale (a sua volta distinguibile in danno emergente e lucro cessante), e non rientra generalmente nell'ambito valutativo del medico legale.

All'interno del danno non patrimoniale, sono invece riconoscibili le seguenti componenti:

1. la componente biologica (intesa come lesione alla salute, fisica o psichica che sia), la quale a sua volta si articola:
  - nell'invalidità permanente, che si traduce in punti percentuali di danno biologico, definito come “lesione permanente dell'integrità psicofisica della persona suscettibile di accertamento medico-legale e che esplica un'incidenza negativa sulle attività quotidiane e sugli aspetti dinamico-relazionali della vita del danneggiato, indipendentemente da eventuali ripercussioni sulla sua capacità di produrre reddito”, da valutarsi a seguito della stabilizzazione degli esiti riportati dal periziando;
  - nell'inabilità temporanea, o danno biologico temporaneo, che contempla il periodo in cui il danneggiato non ha potuto attendere, in tutto o in parte, alle proprie ordinarie occupazioni (professionali, domestiche o ludiche), e che rappresenta la fase evolutiva del danno alla

- persona sino alla stabilizzazione della condizione;
2. la componente morale, vale a dire la sofferenza interiore connessa all'evento;
  3. l'eventuale componente dinamico-relazionale, talora definita come "esistenziale", che si dipana nell'ambito dei rapporti tra il danneggiato e la realtà esterna (con tutto ciò che costituisce "altro da sé"), e che può essere risarcita in presenza di conseguenze dannose anomale, eccezionali, e del tutto peculiari.

Tralasciando gli aspetti dottrinari e giurisprudenziali che generano ampi dibattiti all'interno della comunità medico-giuridica, e che esulano dagli scopi del presente lavoro, è opportuno ricordare come, al di fuori di taluni limitati ambiti, il fulcro della valutazione medico-legale su vivente è costituito dallo studio delle ripercussioni funzionali delle lesioni riportate dal soggetto.

La valutazione delle menomazioni viene effettuata, in linea generale, sulla scorta delle risultanze dell'obiettività medico-legale e delle attestazioni documentali, che sovente lasciano ampio spazio di interpretazione relativamente alle effettive limitazioni del soggetto. Per esempio, il riscontro di una riduzione della mobilità passiva di un'articolazione, di una dismetria, o di una riferita dolorabilità, potranno solo in maniera approssimativa stimare il riflesso funzionale che dovrebbe guidare la valutazione.

E' proprio in questo frangente, e nello specifico nello studio delle menomazioni che riguardano (direttamente o indirettamente) l'apparato locomotore, che la biomeccanica posturale può trovare una sua concreta e preziosa applicazione. Infatti, grazie all'analisi biomeccanica della postura e del movimento, è possibile ricercare e documentare gli aspetti menomativi, e produrre evidenze di importante sostegno probatorio.

Per questo motivo, un laboratorio di analisi del movimento umano, gestito dalla figura dell'ingegnere biomedico, esperto in biomeccanica posturale, può essere di fondamentale importanza al fine di ottenere un giusto risarcimento.

Attraverso l'utilizzo di strumentazioni di ultima generazione, è possibile integrare la perizia medico legale con dati biometrici e in generale biomedici quantificabili e quindi oggettivi; l'effettuazione di opportuni esami in ambito biomeccanico

posturale ed analisi del movimento offre un quadro scientificamente più accurato dell'intero complesso di danni subiti.

Inoltre, è talora possibile anche ricostruire la dinamica di infortuni sul lavoro o stradali, creando modelli ad hoc con l'utilizzo di software di alto livello, al fine di determinare la sussistenza di nesso di casualità, nel modo più accurato possibile.

Tradotto in termini economici, la perizia biomeccanica posturale, correlata all'occorrenza ad una modellizzazione/simulazione digitale dell'incidente, sarà di ausilio alla perizia medico-legale, consentendo il riconoscimento di un congruo risarcimento del danno.

## IN COSA CONSISTE UNA PERIZIA BIOMECCANICA POSTURALE A SCOPI MEDICO LEGALI

Per perizia biomeccanica posturale si intende un'analisi biomeccanica della postura e del movimento, attraverso l'effettuazione di vari test strumentali con elaborazione, correlazione e valutazione dei dati.

Ovviamente, l'utilizzo di certe strumentazioni, l'analisi dei dati biomedici, e la loro interpretazione, hanno bisogno di specifiche competenze e conoscenze in diversi ambiti, tra cui quello ingegneristico e quello medico.

Sappiamo che la postura è una materia multidisciplinare, che interessa moltissimi professionisti come l'ortopedico, il fisiatra, il dentista, il fisioterapista, l'osteopata, il podologo, l'oculista, l'ortottista, il logopedista, il chinesologo, il preparatore atletico ecc...

Adattamenti posturali possono essere causati da interferenze del sistema tonico posturale, ma anche essere secondari a problematiche "strutturali" dovute ad infortuni, incidenti ed interventi chirurgici.

In ambito medico, la tecnologia ha fatto notevoli progressi se pensiamo ad ecografie, radiografie, TAC, scintigrafie ecc...

Ma per l'analisi funzionale quali sono i metodi utilizzati? La diagnostica strumentale, troppo spesso, viene presa poco in considerazione, a differenza delle valutazioni soggettive statiche e quasi mai dinamiche.

Una perizia di questo tipo può costituire una fondamentale integrazione alla visita medico legale al fine di garantire l'acquisizione di importanti evidenze per finalità probatorie, così come un prezioso strumento nell'ambito della pratica clinica e riabilitativa.

Dunque, un laboratorio di analisi del movimento umano e di biomeccanica posturale, provvisto di strumenti ad alta tecnologia e gestito dall'ingegnere biomedico specializzato, oggettiva, sulla base di evidenze scientifiche, i reali deficit funzionali, e consente al medico legale di formulare con maggiore accuratezza, il giusto nesso causale con l'evento subito dall'assistito.

## LA STRUMENTAZIONE DI UN LABORATORIO DI ANALISI DEL MOVIMENTO PER SCOPI MEDICO LEGALI

I sistemi di analisi del movimento permettono lo studio quantitativo del movimento umano (ad es: angolo tra due segmenti corporei, posizione del baricentro del corpo, distribuzione delle forze negli arti, etc.) in modo oggettivo e ripetibile.

Esistono tre importanti sottogruppi che caratterizzano l'analisi del movimento e sono:

1. la dinamica, ovvero lo studio delle relazioni tra il moto di un corpo e le cause che lo hanno prodotto. Ad esempio, è possibile misurare reazioni al suolo utilizzando piattaforme di forze
2. la cinematica, ovvero, la descrizione del moto degli oggetti (traiettorie) senza porsi il problema di trovare le cause che lo hanno determinato. In questo modo è possibile misurare la posizione e la velocità di un segmento corporeo, sia lineare che angolare ad esempio con sistemi optoelettronici di Motion Capture e/o sistemi inerziali
3. l'elettromiografia, ovvero, lo studio delle attivazioni muscolari grazie all'acquisizione e processamento di segnali elettrici provenienti dalla contrazione muscolare

Un laboratorio di analisi del movimento per scopi medico legali deve senz'altro dotarsi di sensori inerziali, ovvero di sistemi integrati che sono costituiti da accelerometri che rilevano l'accelerazione lungo uno o più assi e giroscopi che rilevano le accelerazioni angolari.

Grazie ad un sensore inerziale è possibile effettuare una gait analysis accurata. Posizionando il sensore in prossimità della vertebra S1 e lasciando il soggetto libero di camminare su di un treadmill o meglio ancora liberamente avanti e indietro lungo un corridoio, è possibile andare a valutare parametri cinematici come le varie fasi deambulatorie, la cadenza del passo, la propulsione degli arti, e capire le simmetrie di rotazione del bacino sui tre assi, durante il ciclo di cammino destro e sinistro.

Le valutazioni che si possono eseguire con questo device sono molteplici, ad esempio analisi cervicali che analizzano il movimento sui tre assi di rotazione, analisi di abduzione e flessione degli arti superiori, mobilità della caviglia ecc...

Per finire, questo tipo di strumentazione è utilizzato in sincronia con un sistema elettromiografico di superficie.

Questi due device integrati consentono di studiare le attivazioni muscolari (elettromiografia di superficie) nei più svariati task motori, consentendo di capire come queste attivazioni si collocano nel tempo (sensore inerziale). A titolo di esempio è riportata la valutazione cinematica ed elettromiografica di superficie durante il cammino o l'analisi di abduzione e flessione dell'arto superiore per valutare deficit di movimento della spalla.

Nel primo caso è possibile non solo valutare l'attivazione muscolare, ma anche collocare nel tempo vari eventi quali l'inizio della fase di heel strike, fase di doppio supporto, di singolo supporto, fase di swing e quindi di capire se i muscoli sono preattivati o post attivati e l'intensità dell'attivazione. In definitiva, è possibile studiare il pattern motorio per capire se risulta nei limiti della norma. Grazie a questi sistemi integrati è anche possibile, grazie a vari test ed una successiva analisi dei dati, capire quanto effettivamente un muscolo si stia attivando rispetto alla sua massima contrazione volontaria (MVC).

Stessa cosa vale per un movimento di abduzione o flessione di spalla, collocando le varie sonde per

elettromiografia di superficie sui muscoli prescelti. L'applicazione aggiuntiva del sensore inerziale permette di capire in che fase del task motorio si attivano questi muscoli.

Dunque, queste analisi strumentali risultano essere un ottimo ausilio in campo medico legale in quanto quantificano scientificamente i vari deficit motori dovuti a varie problematiche strutturali e/o posturali.

Un altro test utile è senz'altro la valutazione stabilometrica. Questa tecnica permette di valutare e misurare in modo riproducibile l'equilibrio, attraverso una pedana dotata di precisissimi trasduttori a Strain Gauge.

Vengono studiate le oscillazioni del corpo umano (body sway) attraverso l'analisi del centro di pressione (CoP) ed è possibile evidenziare non solo i vari squilibri corporei derivanti da interferenze posturali (vestibolari, oculomotorie, propriocettive ed esteroceettive) ma anche squilibri secondari a operazioni chirurgiche o postumi infortunistici.

Questo esame differisce da quello baropodometrico, anch'esso utile soprattutto per capire le distribuzioni pressorie podaliche durante la fase statica e dinamica del cammino; non deve essere utilizzato per analizzare le oscillazioni posturali in quanto lo strumento più accurato risulta essere la pedana stabilometrica.

In ultima analisi, è sempre utile dotarsi di strumentazioni precise ed accurate per il rilevamento di rotazioni, inclinazioni di vari segmenti corporei e per effettuare ricostruzioni del rachide in 3D.

La valutazione della postura in 3D risulta essere un esame totalmente non invasivo (come d'altronde i precedenti esami) che consente di studiare come atteggiamenti posturali a livello morfologico si possano correlare a comportamenti dinamici e viceversa, previa opportuna calibrazione dell'ambiente di lavoro per ridurre il più possibile gli errori sistematici.

Tutti questi device sono indispensabili in un laboratorio di analisi del movimento umano, e potrebbero essere integrati a sistemi ancor più costosi come quelli optoelettronici di Motion Capture (per lo studio cinematico di più segmenti corporei) e pedane di forza per lo studio delle reazioni vincolari al suolo.

Lo scopo è quello di apportare valutazioni quantitative, accurate, ripetibili, e poter proporre protocolli di valutazione del deficit funzionale innovativi, standardizzabili e condivisibili tra tutti gli attori del percorso medico legale e riabilitativo.

## CASI CLINICI

A titolo di esempio sono riportati casi dove una perizia biomeccanica, che comprende uno studio del movimento umano, è stata di importante ausilio alla valutazione del medico legale.

### PRIMO CASO

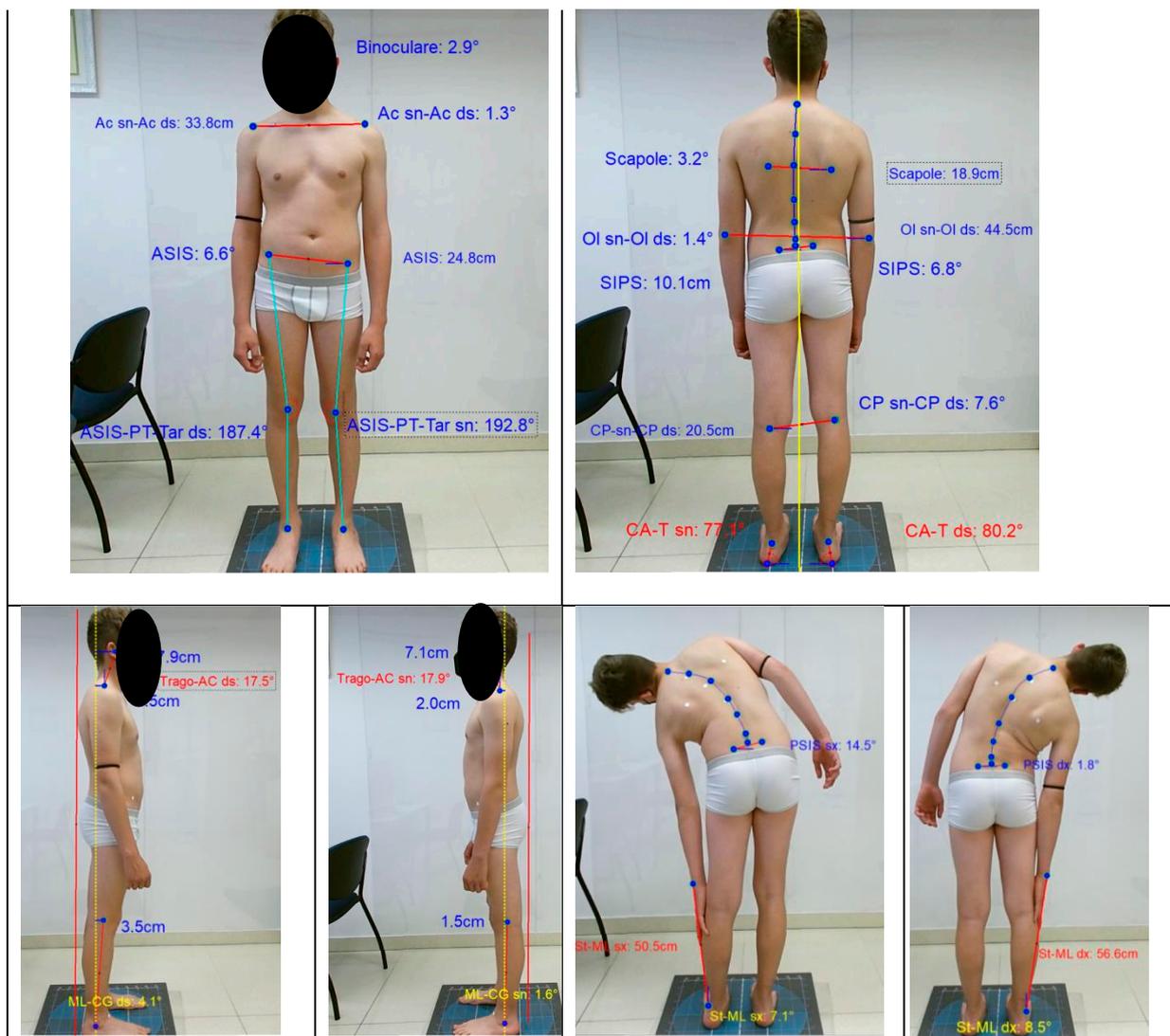
- Ragazzo anno 2005
- Incidente in motorino nell'ottobre 2019
- Frattura femore sinistro
- Infrazione di acetabolo a destra
- Presenza di esito cicatriziale che dal vasto laterale si estende fino alla parte latero-distale del ginocchio sinistro
- Trocanterite destra
- Dolore a livello grande gluteo destro
- Dolore su malleolo esterno sinistro e in prossimità dell'anca sinistra quando accavalla gamba destra in posizione seduta

### **Materiali e metodi**

Le valutazioni funzionali che sono state condotte sono:

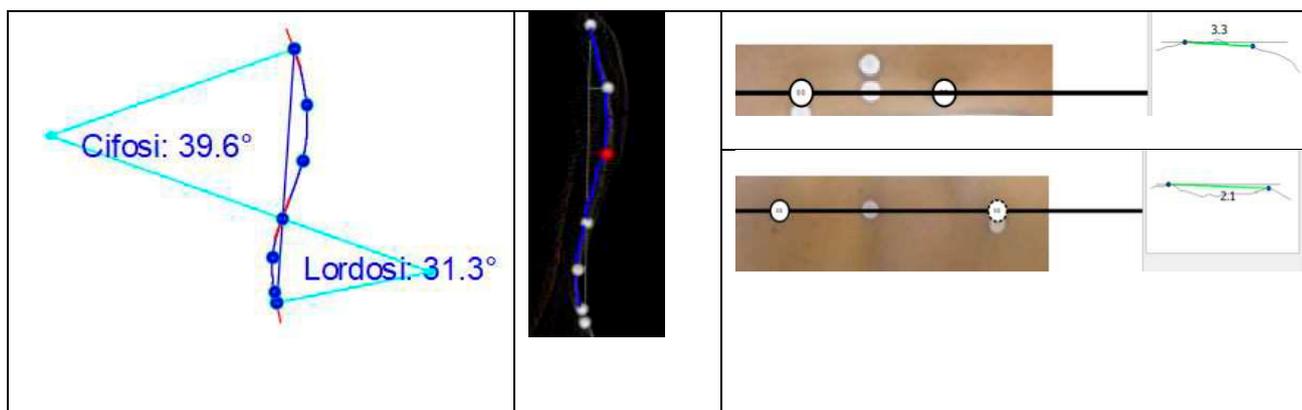
- Analisi della postura in 3D <sup>(I)</sup>
- Analisi baropodometrica statica e dinamica <sup>(II)</sup>
- Analisi cinematica del cammino <sup>(III)</sup>
- Analisi cinematica + elettromiografia di superficie durante il cammino <sup>(IV)</sup>

Per rendere più agevole la lettura si riportano solo i dati salienti rispetto all'intera perizia.



**FIGURA 1**

*Analisi della postura in 3D dalle varie angolazioni*



**FIGURA 2**

*Ricostruzioni del rachide dorsale e lombare e stima degli angoli C7-T12 (cifosi) e T12-S1 (lordosi lombare)*

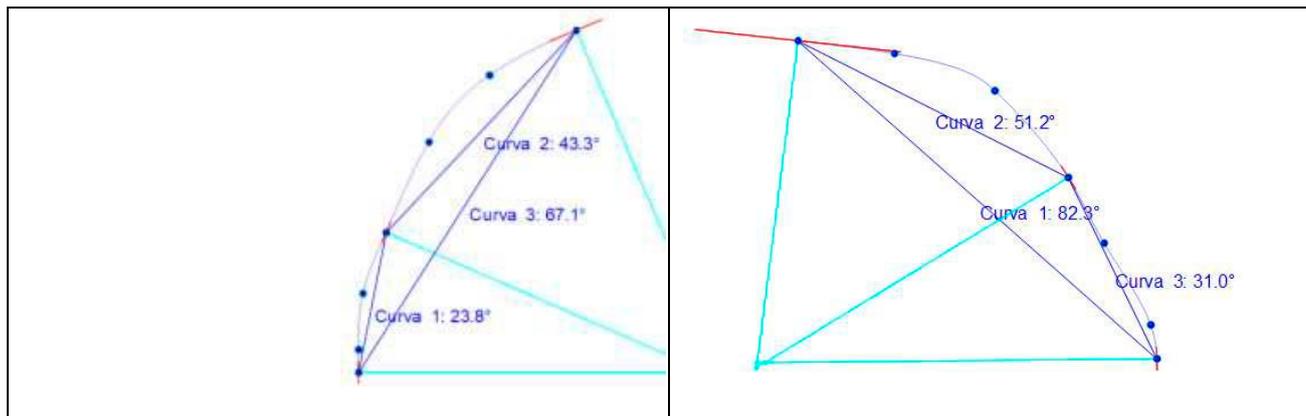


FIGURA 3

Confronto del massimo bending sinistro e destro con stima degli angoli del rachide dorsale e lombare (curva 3 → angolo tra C7 e S1; curva 2 → angolo tra C7 e T12; curva 1 → angolo tra T12 e S1)

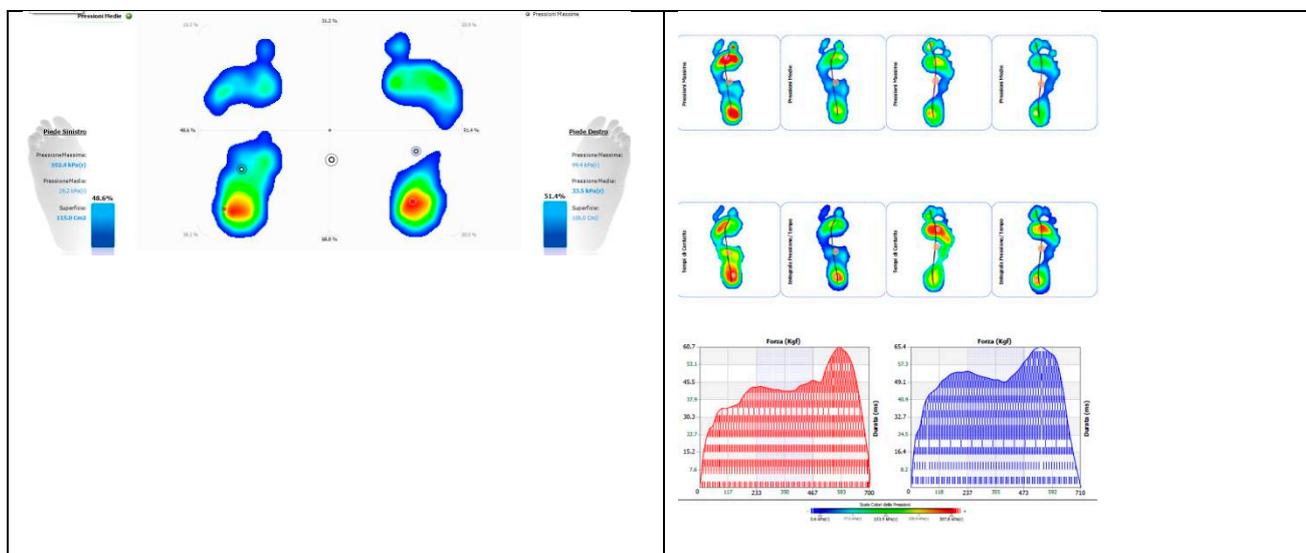
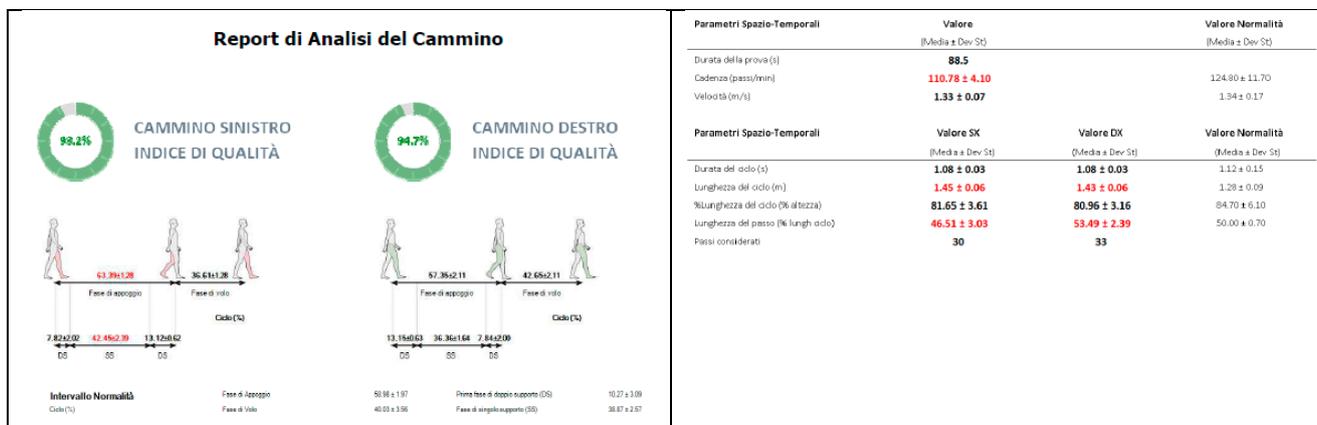
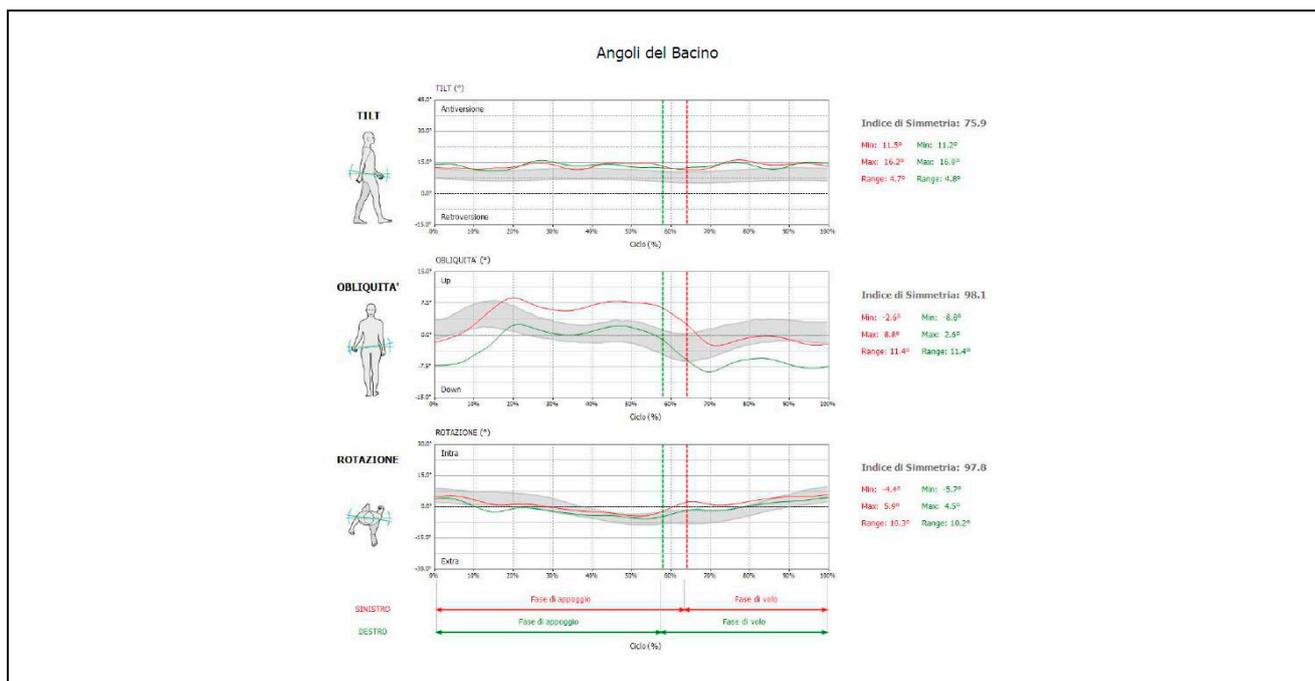


FIGURA 4

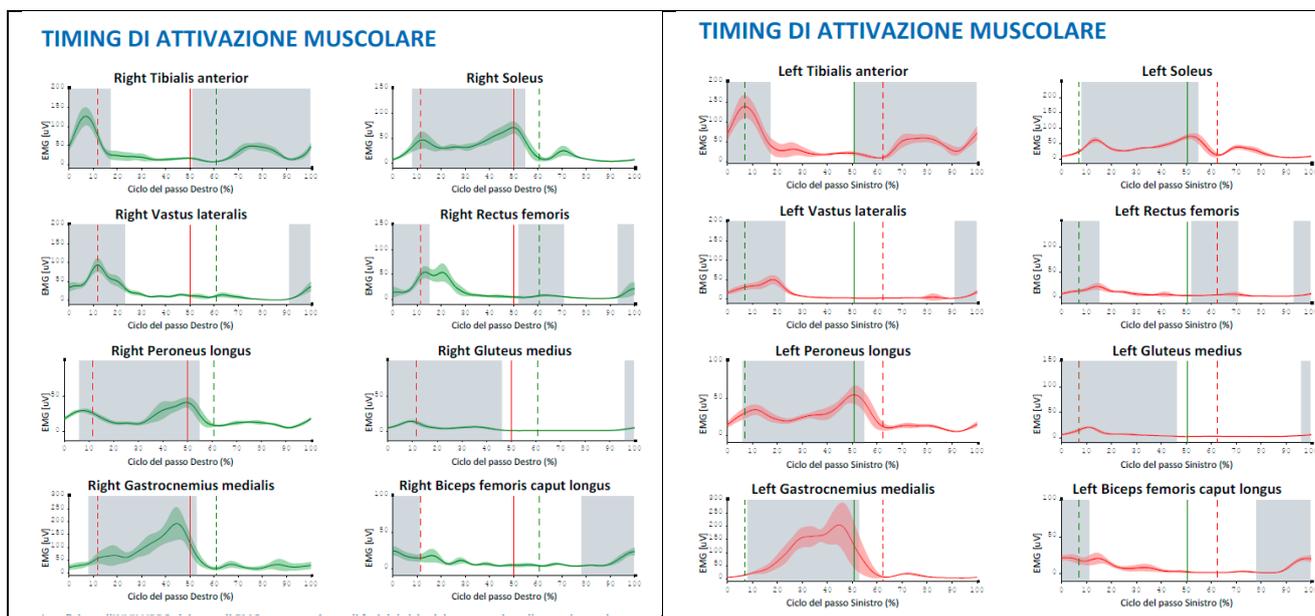
analisi baropodometrica statica (figura sinistra) e dinamica (figura a destra)





**FIGURA 5**

Analisi cinematica del cammino evidenziando i parametri spazio-temporali più importanti e confronto tra le rotazioni del bacino durante ciclo di cammino sinistro (in rosso) e destro (in verde)



**FIGURA 6**

Analisi cinematica ed elettromiografia di superficie durante la normale deambulazione (figura sinistra mostra le attività dei muscoli indagati dell'arto destro mentre la figura destra mostra le attività dei muscoli indagati dell'arto sinistro nelle varie fasi del ciclo di cammino).

## ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Il soggetto, in posizione ortostatica, presenta dei piedi molto pronati con prevalenza a sinistra come dimostrato dall'angolo calcagno-tallone.

Questo comporta un valgismo più accentuato del ginocchio sinistro, un abbassamento a sinistra delle cavità poplitee e infine anche del bacino (come evidenziato dagli angoli delle ASIS e PSIS).

Inoltre il ginocchio sinistro presenta un recurvatum. Questa disposizione dei segmenti nello spazio, ha portato ad un compenso sulla parte medio alta del busto dove i segmenti risultano monolateralmente più alti a destra, e uno shift di tutto il busto verso sinistra.

Proprio per questa estrema pronazione del piede sinistro e abbassamento del bacino a sinistra, il soggetto nel movimento di bending sinistro risulta raggiungere una inclinazione del rachide (angolo tra S1 e C7) nettamente maggiore rispetto al movimento controlaterale, seppure la curvatura risulti essere molto spezzata nella parte dorsale.

Tutto ciò è facilitato dal fatto che il bacino e le scapole sono ruotate in senso antiorario. Questo dato è coerente con l'estrema pronazione del piede sinistro. Con baropodometria statica è stato possibile notare come il piede sinistro sia notevolmente pronato e ci sia una netta differenza di appoggio tra le arcate plantari. Inoltre è stato riscontrato una tendenza alla rotazione in senso antiorario, dato coerente con la rotazione del bacino e scapole.

L'appoggio dinamico ha le stesse caratteristiche della statica e grazie all'analisi cinematica del cammino è stato possibile riscontrare un deficit di movimento sull'arto sinistro.

A dimostrazione di ciò, il passo sinistro è più corto del controlaterale, la propulsione dell'arto sinistro risulta essere più bassa, e la fase di appoggio sinistra è molto maggiore della controlaterale. Inoltre le rotazioni del bacino risultano essere estremamente asimmetriche soprattutto in obliquità.

Dall'analisi elettromiografica di superficie il timing di attivazione dei vari muscoli analizzati è nei limiti della norma ma è evidente una ipoattivazione del retto femorale e del vasto laterale sinistro durante la fase di heel strike. In questa fase, questi muscoli devono

stabilizzare anca e ginocchio ma servono anche ad estendere l'anca <sup>(1) (2)</sup>. Quindi l'ipoattivazione provoca una difficoltà a estendere le pelvi in modo corretto provocando una deambulazione asimmetrica ed alterata come è evidente da tutti gli altri test riportati.

## SECONDO CASO

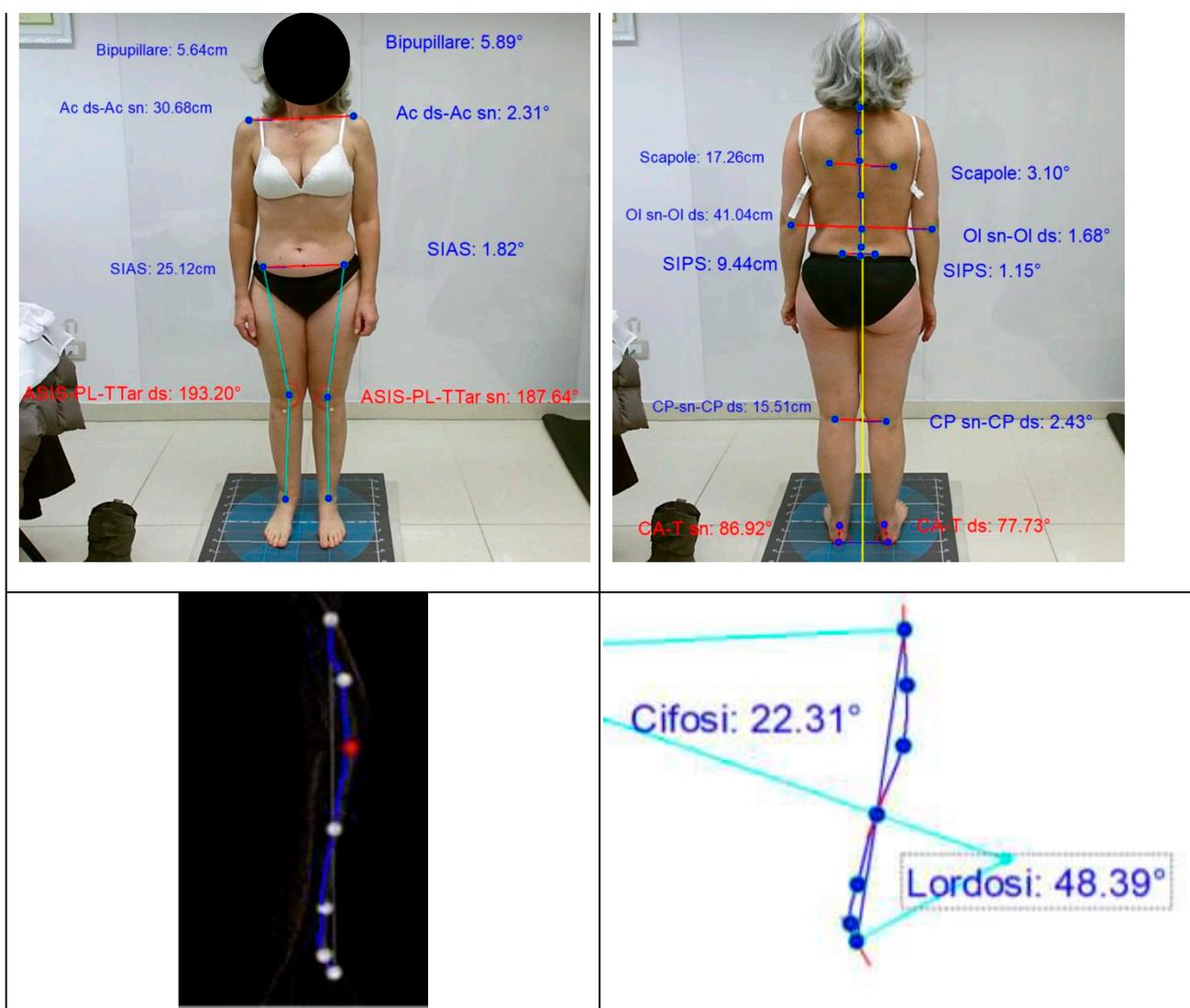
- Donna anno '68
- Febbraio 2018 frattura trimalleolare con lussazione tibiotarsica destra in contesto domestico
- Trattata c/o clinica ortopedica di grande struttura pubblica a marzo 2018 con osteosintesi (riduzione e sintesi con placca e viti syntes).
- A marzo 2018 rimozione vite sindesmosica.
- A seguire fkt e terapia medica con vitamina d, calcio e difosfonati.
- Per tutto giugno 2018 ricovero presso clinica ortopedica e traumatologica per esito frattura T-T destra con diastasi della pinza tibio-peroneale.
- A fine giugno 2018 veniva sottoposta ad intervento chirurgico di rimozione placca, viti, cruentazione sindesmosi e stabilizzazione.
- Dopo 30 gg rimozione stivaletto gessato e a settembre 2018 rimozione vite sindesmosica T-T destra con indicazione a carico completo dopo 15 giorni
- Da fine settembre 2018 comparsa di dolore, edema e deficit funzionale progressivo. Più volte contattato l'ortopedico che suggeriva riposo e terapia con FANS.
- Per la persistenza invariata della sintomatologia si procedeva di propria iniziativa all'esecuzione di RX caviglia destra e RMN caviglia destra
- Fine ottobre 2019 ricovero presso una clinica ortopedica universitaria per rifrattura metaepifisaria distale tibia e perone destro e frattura del terzo malleolo con vizio di consolidazione in esiti di frattura lussazione tibio tarsica destra.
- A novembre 2019 veniva sottoposta a intervento di riduzione e sintesi con 2 fili di Kirschner metaepifisi distale perone e con 2 fili di Kirschner metaepifisi distale tibia destra.
- A febbraio 2020 rimozione di 2 fili di Kirschner a livello peroneale
- A giugno 2020 rimozione dei 2 fili di Kirschner a livello tibiale
- Persistente dolore nella deambulazione

- Anche dopo il nuovo intervento afferma di:
  1. caricare su arto sinistro
  2. avere dolorabilità sulla pianta del piede sinistro e caviglia esterna sinistra
  3. avere coxalgia e lombalgia a fascia
  4. avere cervicalgia in flessione

### Materiali e metodi

Le valutazioni funzionali che sono state condotte sono:

- Analisi della postura in 3D <sup>(I)</sup>
- Analisi baropodometrica statica e dinamica <sup>(II)</sup>
- Analisi cinematica del cammino <sup>(III)</sup>
- Analisi cinematica + elettromiografia di superficie durante il cammino <sup>(III) (IV)</sup>
- Analisi cinematica della pianta-flessione di caviglia <sup>(III)</sup>



**FIGURA 7**

Ricostruzioni del rachide dorsale e lombare e stima degli angoli C7-T12 (cifosi) e T12-S1 (lordosi lombare)

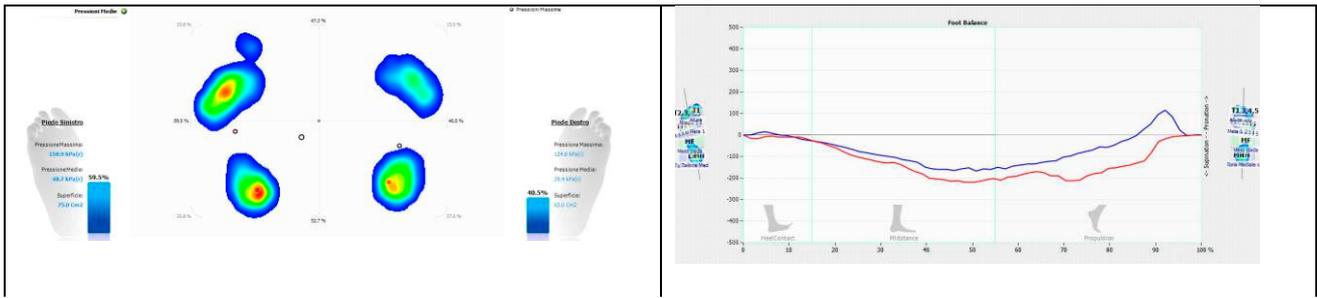


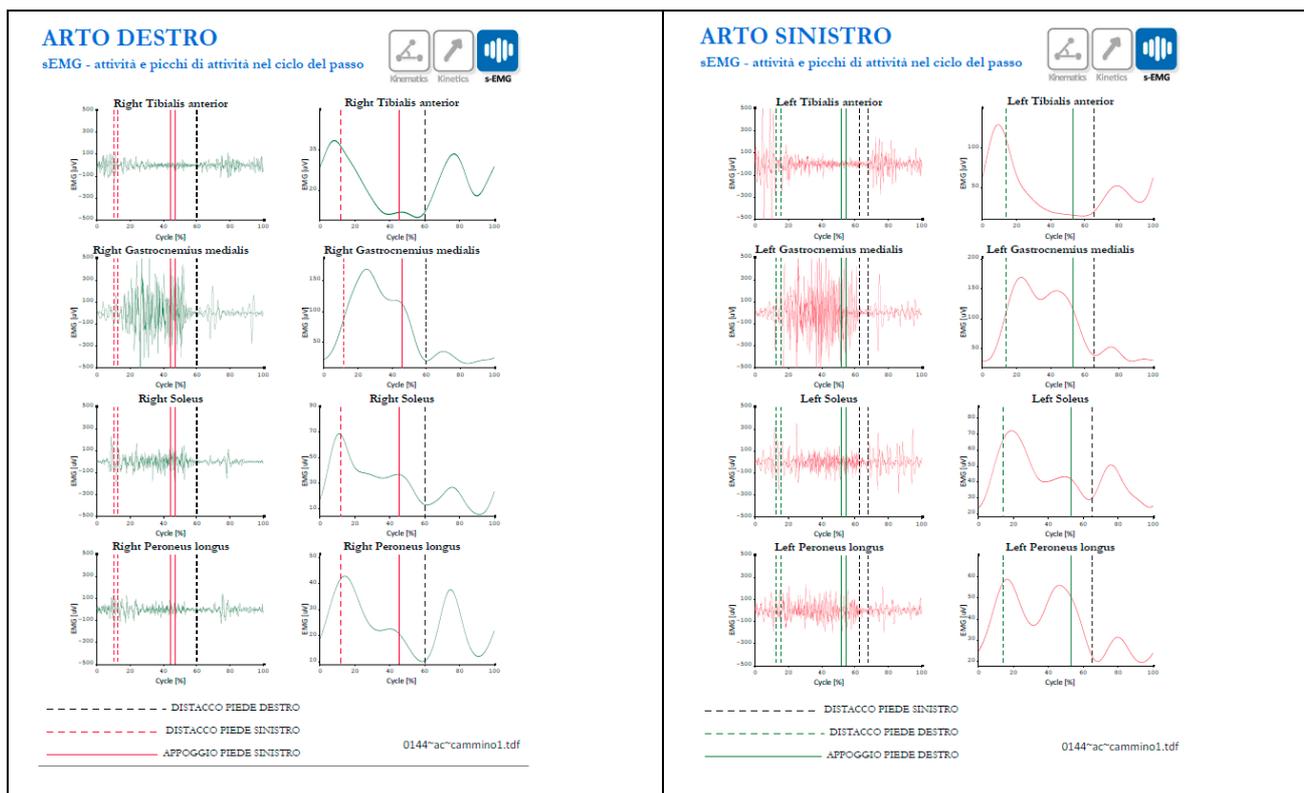
FIGURA 8

Analisi baropodometrica statica (figura sinistra) e dinamica (figura a destra) che mostra la maggiore pronazione del piede destro (curva in blu) durante tutta la fase di rotolamento



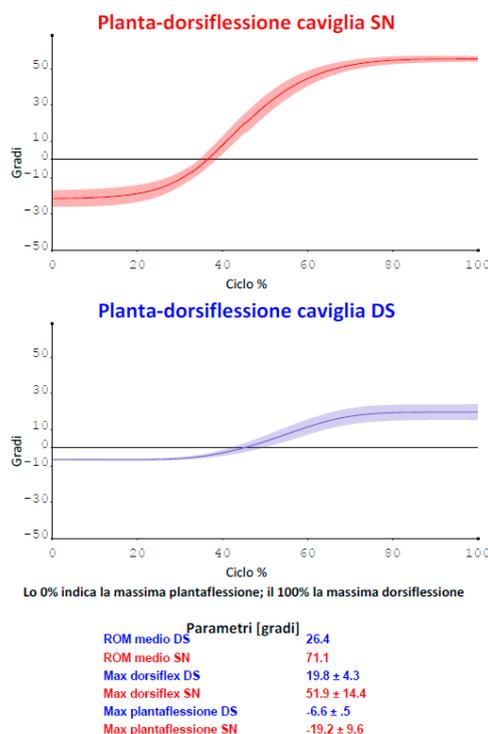
FIGURA 9

Analisi cinematica del cammino evidenziando i parametri spatio-temporali più importanti e confronto tra le rotazioni del bacino durante ciclo di cammino sinistro (in rosso) e destro (in verde)



**FIGURA 10**

Analisi cinematica ed elettromiografia di superficie durante la normale deambulazione (figura sinistra mostra le attività dei muscoli indagati dell'arto destro mentre la figura destra mostra le attività dei muscoli indagati dell'arto sinistro nelle varie fasi del ciclo di cammino).



**FIGURA 11**

Analisi cinematica della dorsi-plantarflexione di caviglia sinistra e destra a confronto

## ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Dall'analisi della postura in 3D si evidenzia come tutti i segmenti corporei siano più alti a sinistra, molto probabilmente a causa della forte pronazione del piede destro e del maggiore valgismo del ginocchio destro rispetto al controlaterale.

Dall'analisi baropodometrica statica, si evidenzia come la superficie di appoggio sia nettamente maggiore sul piede sinistro con prevalenza sull'avampiede sinistro.

Questo spiega anche l'antiversione del bacino analizzata nell'analisi cinematica del cammino e la riduzione di pressione su arcata plantare sinistra.

Tutto ciò porta anche ad avere una forte pronazione del piede destro durante lo svolgimento dell'elica podalica e una maggiore eversione del piede sinistro come mostrato da baropodometria dinamica.

Poi, sempre dall'analisi cinematica del cammino, si evidenzia una netta prevalenza di fase di appoggio a sinistra, una bassa cadenza, e un innalzamento del bacino sempre durante il ciclo di cammino sinistro.

Questi dati sono coerenti con i precedenti, infatti, questo innalzamento a sinistra del bacino è consequenziale alla maggiore altezza di tutti i segmenti corporei a sinistra vista la forte pronazione del piede destro e la conseguente intrarotazione del ginocchio destro.

Dall'analisi del cammino con elettromiografia di superficie si evidenzia come il muscolo tibiale anteriore destro sia scarsamente attivo durante la fase di heel strike e soprattutto durante la fase di swing <sup>(1) (2)</sup>.

Poiché è scarsamente attivo in quest'ultima fase non permette al piede di dorsiflettersi in modo adeguato. Questo perché un suo antagonista, ovvero il peroniero lungo, risulta essere troppo attivo, facendo pronare ancor di più il piede destro e facendo abbassare ulteriormente il bacino creando una differenza di obliquità tra ciclo di cammino destro e sinistro.

A prova che il piede è il problema primario dei deficit funzionali e posturali sopra elencati, vi è il ridotto ROM del piede destro durante la flessione-estensione (soprattutto nella dorsiflessione).

## TERZO CASO

Obiettivo della seguente relazione tecnica era quello di analizzare la biomeccanica del cammino del cliente e di analizzare il video registrato da una telecamera di sorveglianza, posizionata in prossimità di una banchina in un porto, al fine di ricostruire la dinamica di un infortunio sul lavoro che lo ha coinvolto.

Precisamente, si è voluto capire, tramite l'utilizzo di un modello di calcolo a parametri concentrati, quale sia stata la forza che il piede destro dell'infortunato ha esercitato durante l'urto con un cavo d'acciaio mal posizionato sulla banchina, e come questa forza abbia potuto spostare il cavo d'acciaio stesso.

Si è voluto inoltre valutare come la biomeccanica del cammino del signore abbia potuto contribuire all'urto e alla conseguente caduta.

Questo tipo di relazione sarà catalogata come perizia per scopi medico-lavorativi.

I dati anamnestici del paziente erano i seguenti:

- Nel '89 ha subito infortunio che ha causato trauma al ginocchio destro con danno permanente valutato in misura dell'11% per rottura del menisco mediale con lieve iperestensibilità della gamba, lievissima lassità del legamento collaterale mediale, ipomiotorfia della coscia di 1.5 cm e del polpaccio di 1 cm, gonalgie da carico
- Nel novembre '92 infortunio sul lavoro da trauma al ginocchio destro con lesione completa del legamento crociato anteriore e lesione meniscale interna ed esterna
- Nel '93 operato per ricostruzione del LCA e rimodellamento delle lesioni meniscali"
- Nel '96 infortunio in cui ha riportato un trauma al ginocchio sinistro. Un esame TAC metteva in evidenza la rottura traumatica del menisco mediale.
- Nel dicembre '96 il soggetto veniva sottoposto ad intervento chirurgico in artroscopia per lesione meniscale interna (corpo corno al passaggio murale); lesione parziale del LCA (fascio antero mediale); condrite posttraumatica condilo femorale interno con conseguente meniscectomia selettiva
- È stato riconosciuto rendita INAIL per invalidità pari al 25%

• All'esame obiettivo è stato possibile apprezzare:

**Ginocchio destro:**

1. muscolatura trofica; scrosci articolari nei movimenti di flessione estensione; estensione nei limiti; buona la flessione con limitazione ai gradi estremi
2. Circonferenza a 12 cm dal polo superiore della rotula 52.5 cm a destra; a sinistra 55 cm
3. Articolazione asciutta, non dolente la palpazione dell'articolazione
4. Accenno del segno del cassetto

**Ginocchio sinistro:**

5. muscolatura trofica; scrosci articolari nei movimenti di flessione estensione; estensione nei limiti; buona la flessione ai gradi estremi

• Riferisce errata deambulazione che incide sulla postura/portamento e cenni di cedimento improvvisi alle ginocchia durante la normale deambulazione

• Riferisce continui dolori lombari

L'approccio metodologico utilizzato consiste nel descrivere le parti del corpo dell'infortunato come corpi rigidi di opportune caratteristiche inerziali in una data posizione iniziale.

Una volta generato il modello di calcolo è stato sufficiente fornire un input iniziale in termini di velocità o accelerazione così da poter verificare come si è evoluto il sistema.

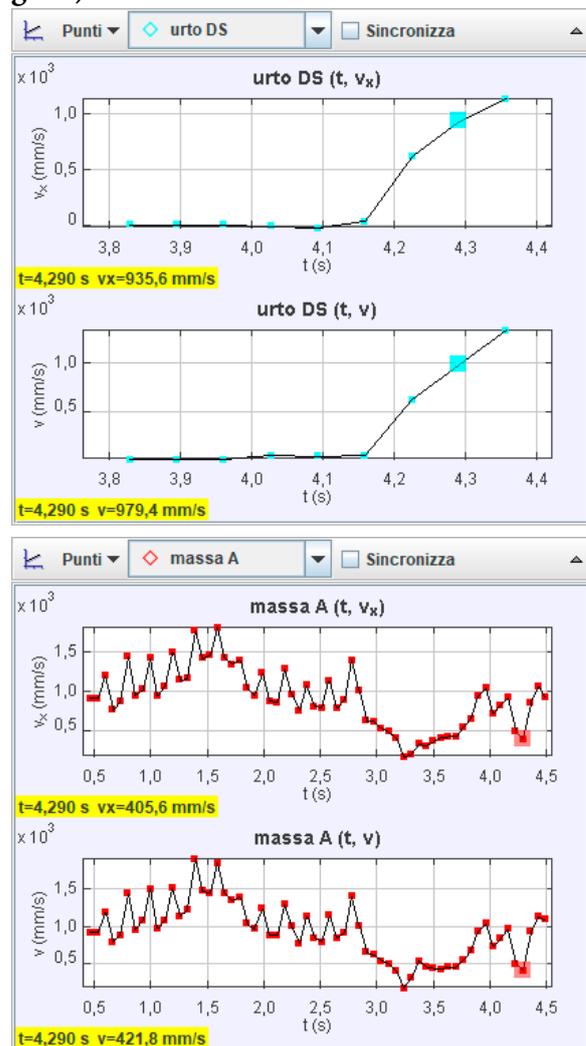
Il video è stato elaborato tramite **Tracker** <sup>(5)</sup>, software per video-analisi di un moto, che in questo caso ha permesso di effettuare misure quantitative riguardo la varie velocità dell'andatura del soggetto.

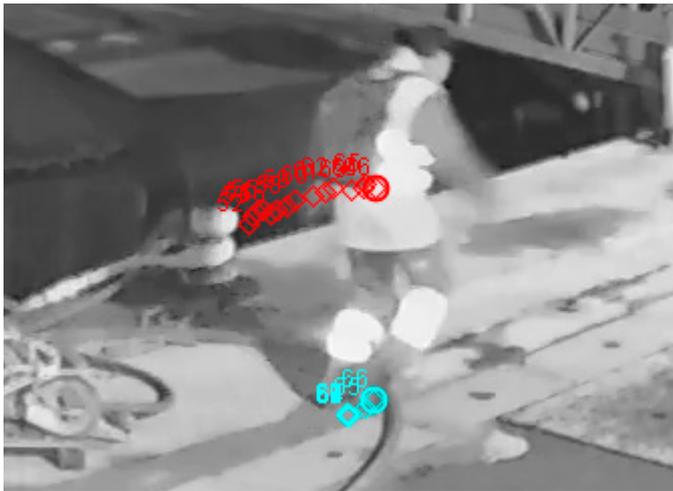
In particolare, è stata analizzata sia l'andatura globale sia quella del piede destro nelle varie fasi del passo fino all'istante che precede l'urto con la fune di acciaio. Il software Tracker, ha permesso anche di quantificare la lunghezza della fune di acciaio e di estrarre fotogrammi come mostrato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. e Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..(Fig. 12) (Fig. 13)**



**FIGURA 12**

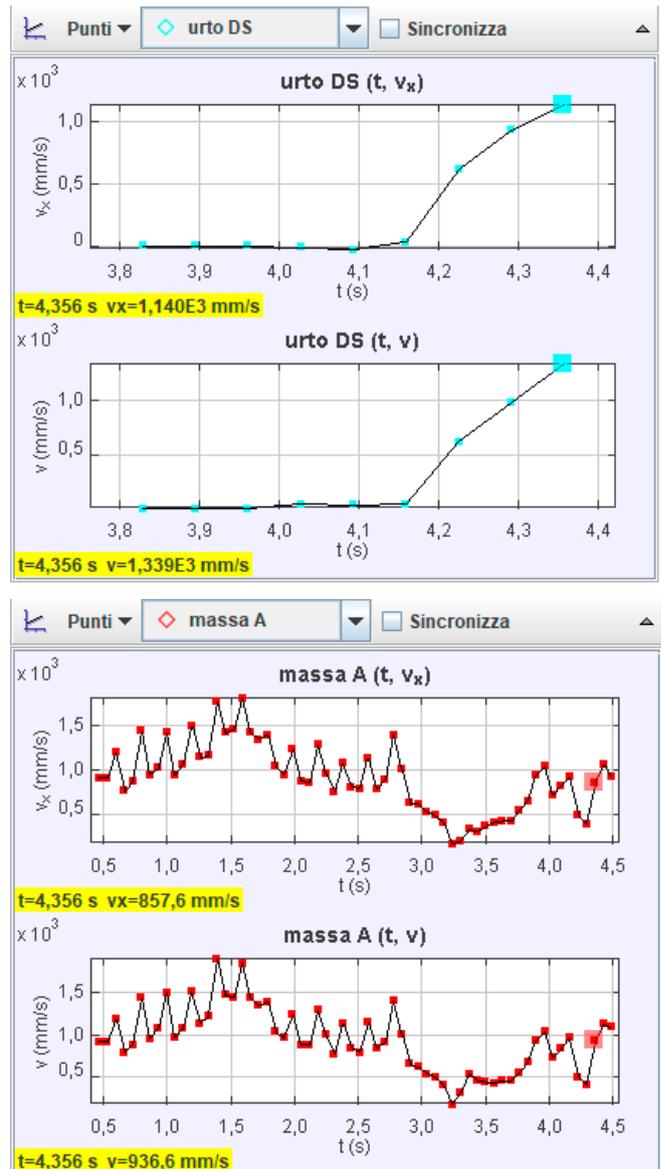
*Velocità totale e velocità longitudinale del piede destro (urto DS) e del corpo (massa A) un istante prima dell'urto*





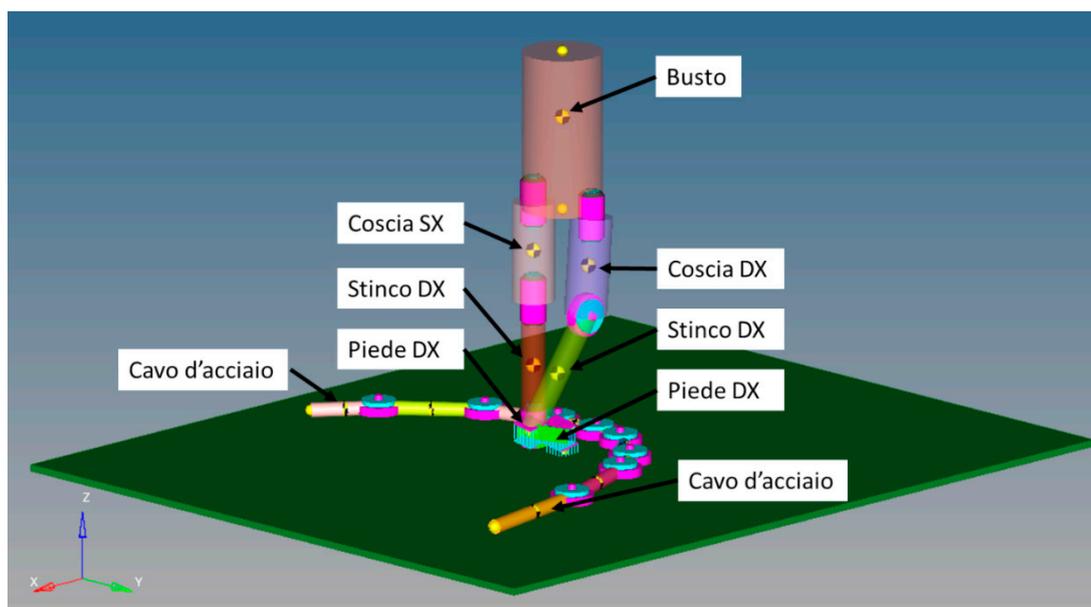
**FIGURA 13**

Velocità totale e velocità longitudinale del piede destro (urto DS) e del corpo (massa A) nell'istante dell'urto



Successivamente, in collaborazione con un Ing. meccanico, è stato possibile effettuare una simulazione del corpo per capire le forze in gioco nell'urto contro la fune di acciaio, attraverso l'utilizzo della suite **Altair Hyper Works**.

In questo caso, dopo aver costruito il modello del corpo e della fune di acciaio utilizzando geometrie semplificate, le varie parti del corpo sono state rappresentate da corpi rigidi (indeformabili) che venivano connessi agli adiacenti tramite collegamenti cinematici puri o cedevoli (**Figura 14**).

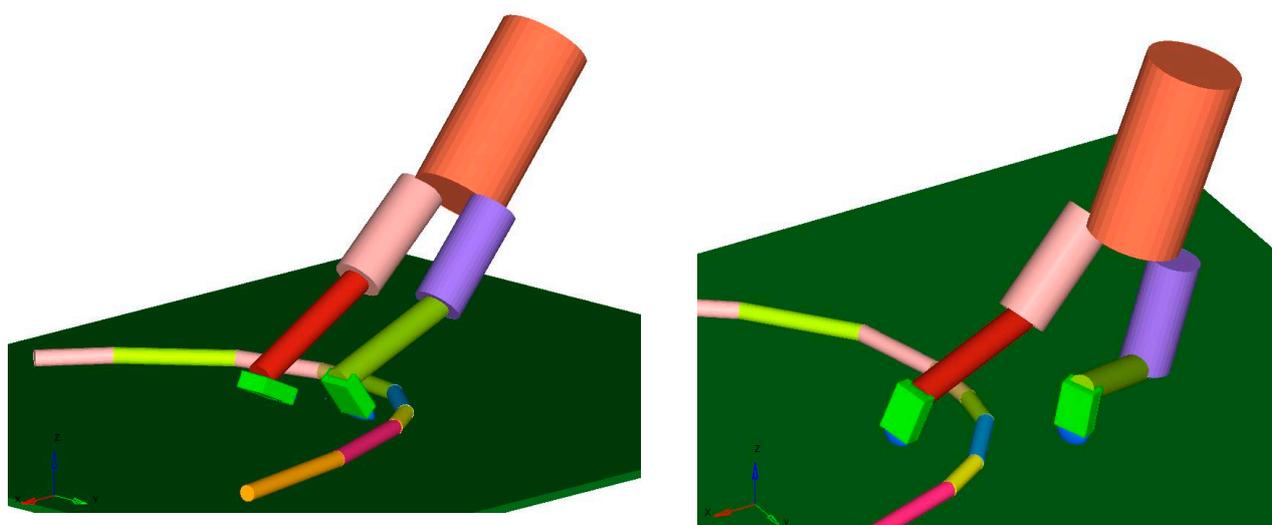


**FIGURA 14**

modello di calcolo raffigurante geometrie semplificate

Conoscendo il peso del soggetto è stato possibile ricavare, con l'aiuto della letteratura, il peso dei vari arti <sup>(3)</sup>, al fine di simulare nel modo migliore l'impatto del piede destro con il cavo.

Al fine di capire se il soggetto avesse simulato o meno la caduta, è stato fatto un confronto tra la dinamica della caduta reale e quella simulata come mostrato in **Figura 15**.



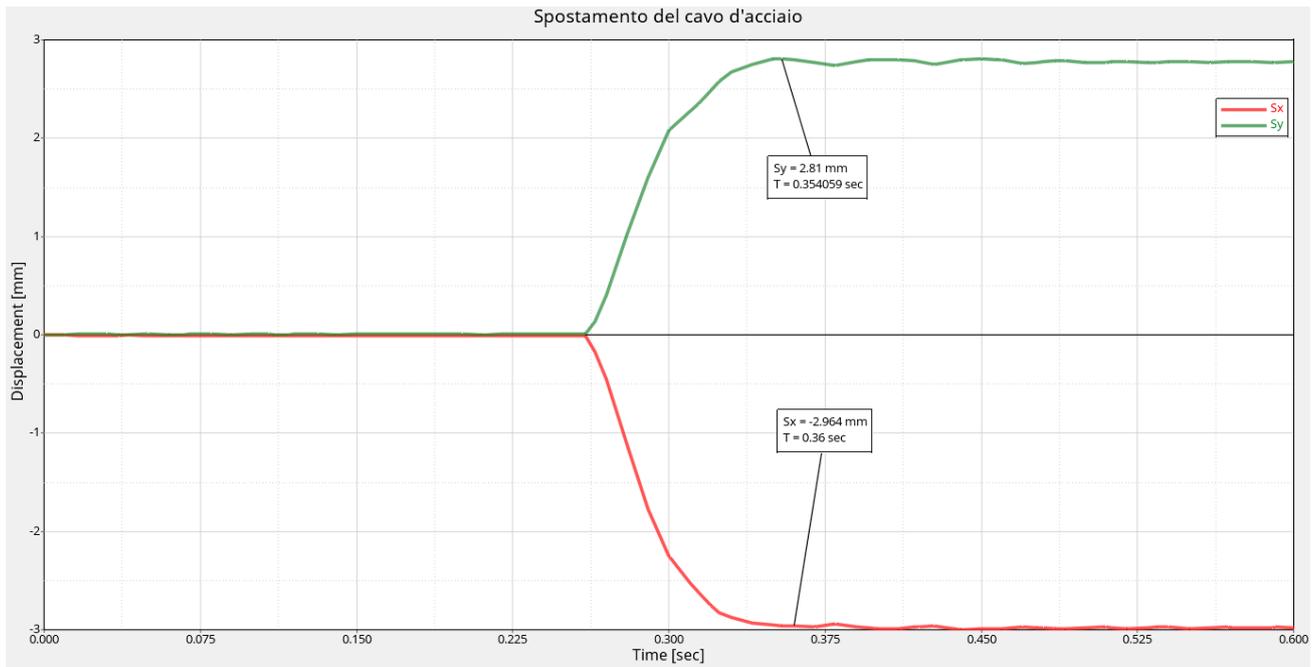
**FIGURA 15**

*In alto il frame rappresenta la caduta dopo l'urto con la braca. In basso a sinistra la rappresentazione della caduta simulata mentre in basso a destra la simulazione della caduta reale*

Dalle simulazioni mostrate nella figura precedente, si nota come nel filmato dell'infortunio vi è un chiaro tentativo di recupero da parte dell'infortunato, il quale slancia la gamba destra in avanti, con lo scopo di evitare una caduta a terra.

Tutto questo corrisponde alla simulazione della **Figura 15** in basso a destra e non a quella in basso a sinistra come invece sosteneva la controparte.

Da qui è stato possibile anche stimare la forza di impatto del piede destro sul cavo e di come questo impatto abbia al massimo apportato uno spostamento minimo del cavo (4 mm) non certo apprezzabile dalla bassa risoluzione del video da cui sono stati ricavati i frames (**Figura 16**).



**FIGURA 16**

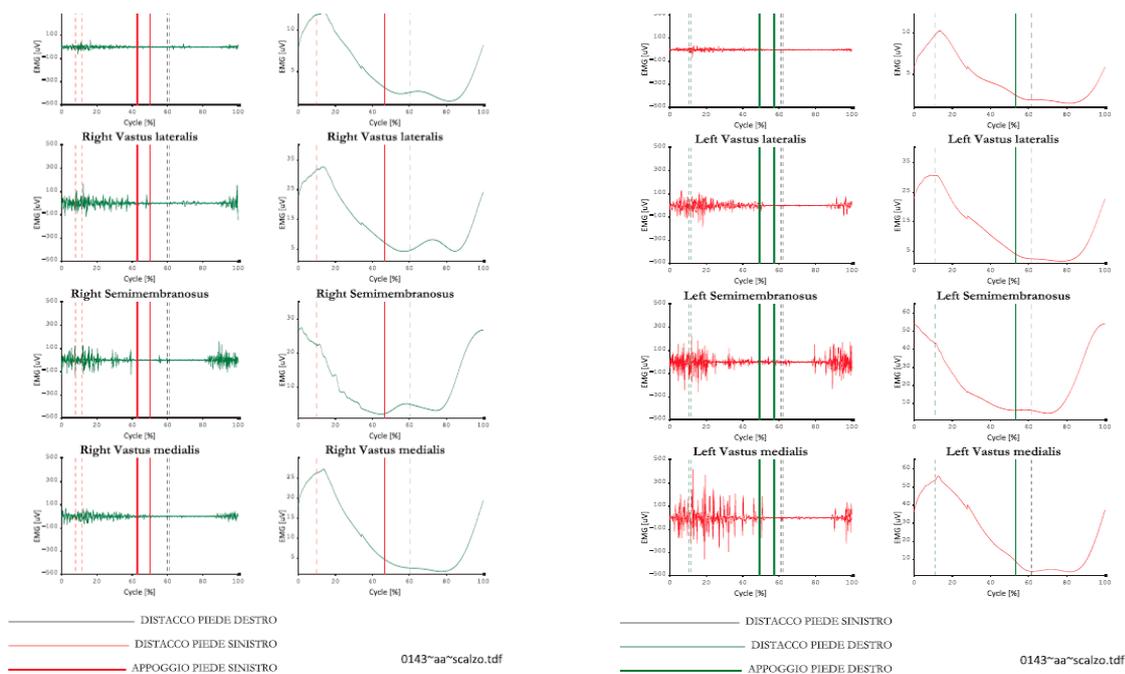
*Spostamento del cavo d'acciaio a seguito dell'urto col piede dell'infortunato*

Come detto precedentemente, il soggetto è stato anche sottoposto a perizia biomeccanica posturale, al fine di comprendere quali disfunzioni motorie abbiano potuto rendere difficoltoso il superamento dell'ostacolo.

Sono stati eseguiti in laboratorio vari test come l'analisi cinematica del cammino <sup>(III)</sup>, l'analisi del cammino con elettromiografia di superficie <sup>(III) (IV)</sup> e l'analisi di attivazione degli erettori spinali con elettromiografia di superficie durante il movimento di flessione-estensione <sup>(III) (IV)</sup>

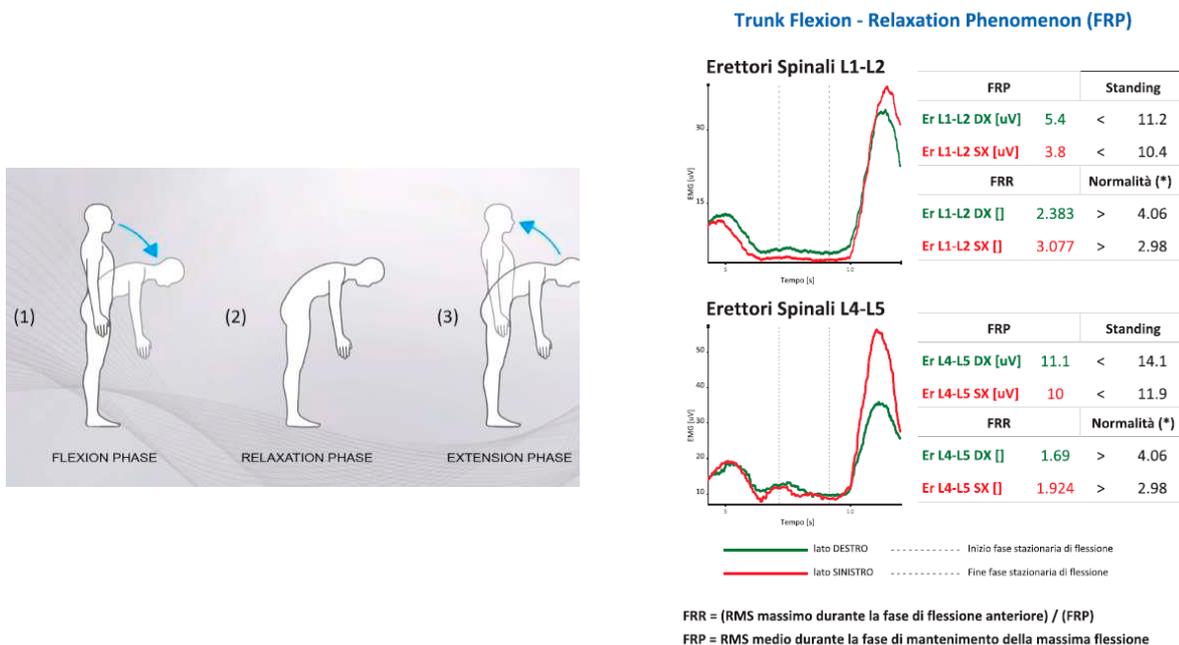
Come mostrato in Figura 17 e Figura 18 sono emersi i seguenti dati salienti:

- Fasi di appoggio e di volo nei limiti della norma
- Cadenza molto bassa
- Lunghezza del passo nei limiti della norma
- Propulsione molto bassa bilateralmente
- Escursione di spostamento verso l'alto del bacino durante il ciclo di cammino destro e sinistro molto bassa
- Vasto mediale di destra molto meno attivo del controlaterale durante il primo tocco a terra del tallone <sup>(1) (2)</sup>.
- ischiocrurali di destra meno attivi dei controlaterali
- pattern motorio, quindi la sequenza di attivazione dei vari muscoli indagati è nei limiti della norma
- Paravertebrali in prossimità di L4-L5 e L1-L2 di destra sempre attivi anche durante la fase di massima flessione dove l'attività muscolare dovrebbe essere silente <sup>(4)</sup>.



**FIGURA 17**

In alto è raffigurata una tabella con i parametri spazio-temporali più importanti e in basso lo studio delle azioni muscolari con elettromiografia di superficie dell'arto destro (verde) e sinistro (rosso)



**FIGURA 18**

Flexion-relaxation phenomenon. Viene valutato l'indice FRR (rapporto tra RMS della fase di flessione anteriore del tronco e l'indice FRP, ovvero l'indice FRP che esprime il contenuto di energia residua (RMS) all'interno dei muscoli lombari in fase di mantenimento della massima flessione). Questo test permette di valutare se è correttamente presente il fenomeno di rilassamento dei muscoli lombari durante la fase di mantenimento della flessione anteriore del tronco. Se questo indice è inferiore ad una data soglia, significa che è presente una contrattura della muscolatura profonda associata a low back pain

## ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Dal video è stato misurato scientificamente che il soggetto rallenta molto la sua andatura accorciando i passi prima della caduta. Infatti la sua velocità passa da 5.13 km/h a 2.25 km/h.

Il video mostra come in prossimità della fune di acciaio la gamba sinistra venga piegata e il piede destro urti la stessa facendo il passo successivo.

Il piegamento della gamba sinistra è molto probabilmente dovuto alla repentina decelerazione del corpo prima di affrontare l'ostacolo.

Questa decelerazione è plausibilmente dovuta al fatto che l'infortunato si è girato qualche istante prima verso il membro dell'equipaggio (frames non riportati in questo test per motivi di sintesi) **distraendosi** e quindi trovandosi a fare dei passi sempre più piccoli non riuscendo a trovare più la distanza utile per superare senza difficoltà la braca.

In aggiunta a ciò, va considerato l'aspetto biomeccanico. La gamba sinistra si piega aumentando la forza muscolare proprio per questa repentina decelerazione e quindi l'infortunato si sarebbe trovato in difficoltà a superare l'ostacolo con la gamba destra proprio a causa del suo deficit strutturale e funzionale documentato da vari referti e da questa analisi biomeccanica. È molto probabile che questo arto sia più deficitario in quanto i muscoli stabilizzatori del ginocchio come vasto mediale e ischio-crurali di destra sono meno attivi dei controlaterali, la propulsione risulta essere bassa come anche lo spostamento del bacino verso l'alto durante la deambulazione.

Quindi, ricapitolando, è logico che la gamba sinistra abbia sostenuto il carico del peso corporeo prima dell'ostacolo e che l'arto destro, in quanto più compromesso, abbia avuto difficoltà a scavalcare la fune di acciaio.

La simulazione dell'infortunio mostra che, se si vuole ottenere la medesima dinamica della caduta, è necessario introdurre nella simulazione di calcolo un'azione post urto piede-cavo finalizzata al sollevamento della gamba destra e avanzamento del piede destro nel tentativo, da parte dell'infortunato, di recuperare l'equilibrio e risollevarsi.

Dall'elaborazione dei risultati di detta simulazione si evince che, data la velocità di avanzamento dell'individuo e la massa del cavo, l'urto del piede contro il cavo d'acciaio produce uno spostamento così esiguo che non può essere rilevato dalle telecamere di sorveglianza data la bassa risoluzione di acquisizione delle immagini.

Per ottenere uno spostamento del cavo apprezzabile dalle telecamere di sorveglianza è necessario raddoppiare la velocità di avanzamento dell'individuo paragonandola ad una corsa.

Per ultimo ma non per importanza, l'urto del piede destro, avvenuto alla velocità longitudinale di 4.82 km/h, può portare al solo spostamento del cavo di **4 mm** con una forza esercitata di **384 N** e un ritorno elastico del cavo di appena **20 ms**.

Basandosi sulla risoluzione e la frequenza di acquisizione del video di sorveglianza sarebbe impossibile distinguere questo minimo spostamento, considerando anche il fatto che il valore di forza di urto del piede destro risulta essere sovrastimato. Questo perché è stato considerato il corpo come se fosse costituito da segmenti rigidi senza introdurre il normale smorzamento tipico delle strutture biologiche. Verosimilmente il cavo avrebbe avuto uno spostamento con ritorno elastico addirittura inferiore a 4 mm.

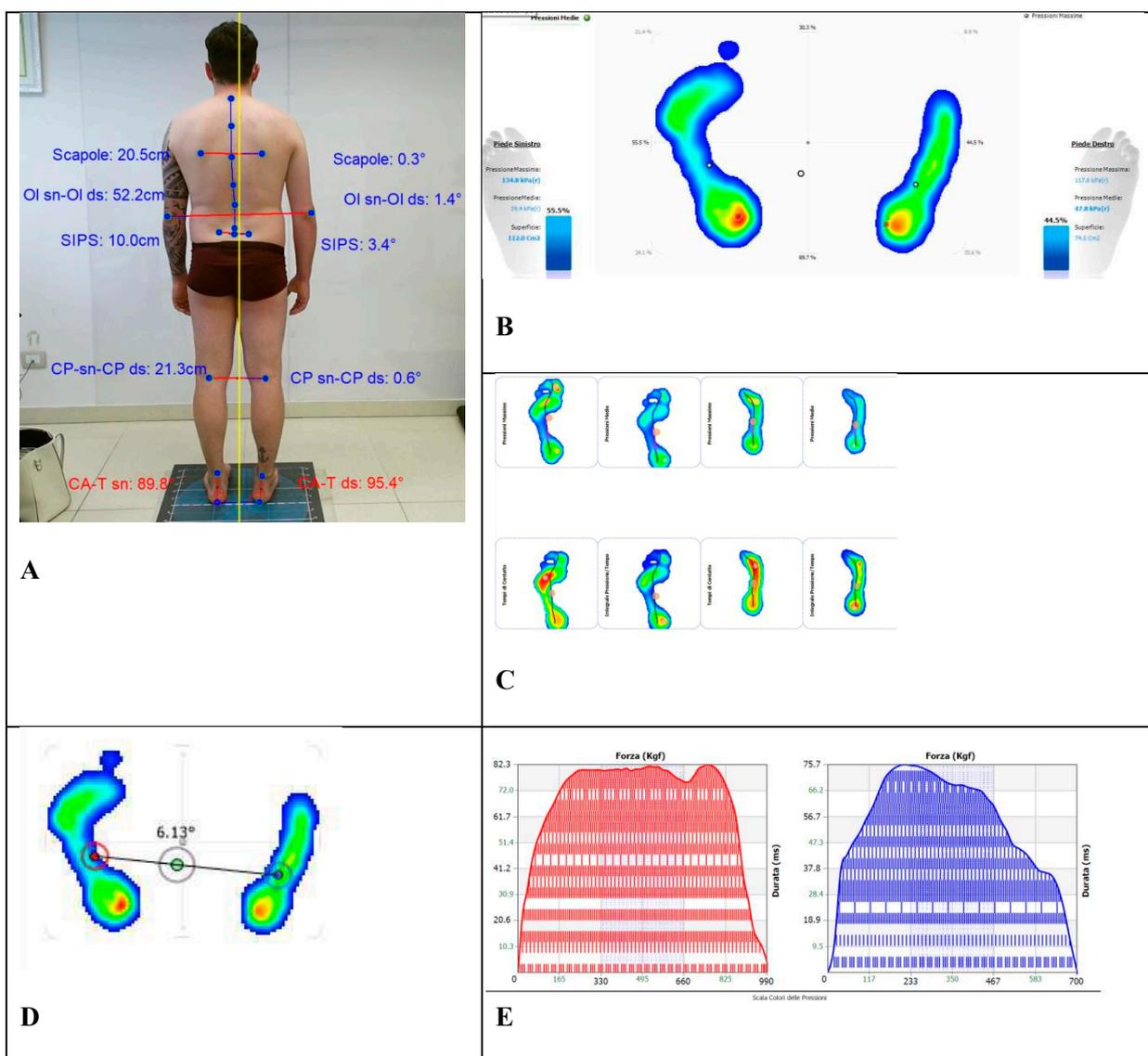
## QUARTO CASO

- Ragazzo anno '88
- Incidente di lavoro durante attività di postino
- Distorsione di III grado caviglia destra scendendo di motorino e appoggiando male il piede
- Riferisce difficoltà nella deambulazione
- Riferisce dolore nella regione tibiotarsica mediale e laterale
- Riferisce difficoltà nei movimenti della caviglia
- Riferisce che dall'incidente sono sopravvenuti dolori al collo e lombalgia a fascia

La perizia biomeccanica posturale ha previsto i seguenti esami:

1. Analisi della postura in 3D<sup>(I)</sup>
2. Esame baropodometrica statico e dinamico<sup>(II)</sup>
3. Analisi cinematica del cammino<sup>(III)</sup>
4. Analisi del cammino con elettromiografia di superficie<sup>(III) (IV)</sup>

5. Analisi cinematica della dorsiplantaflessione della caviglia (III)
6. Analisi elettromiografia cervicale nel movimento di flessione-estensione (III) (IV)



**FIGURA 19**

Analisi della postura in 3D in alto a sinistra (A); baropodometrica statica (B); baropodometria dinamica (C); rappresentazione della tendenza di oscillazione durante il mantenimento della posizione ortostatica (D); pressione nelle varie fasi di appoggio (sinistro in rosso destro in blu) mostrate in figura E



FIGURA 20

Analisi cinematica del cammino evidenziando i parametri spazio-temporali più importanti e confronto tra le rotazioni del bacino durante ciclo di cammino sinistro (in rosso) e destro (in verde)

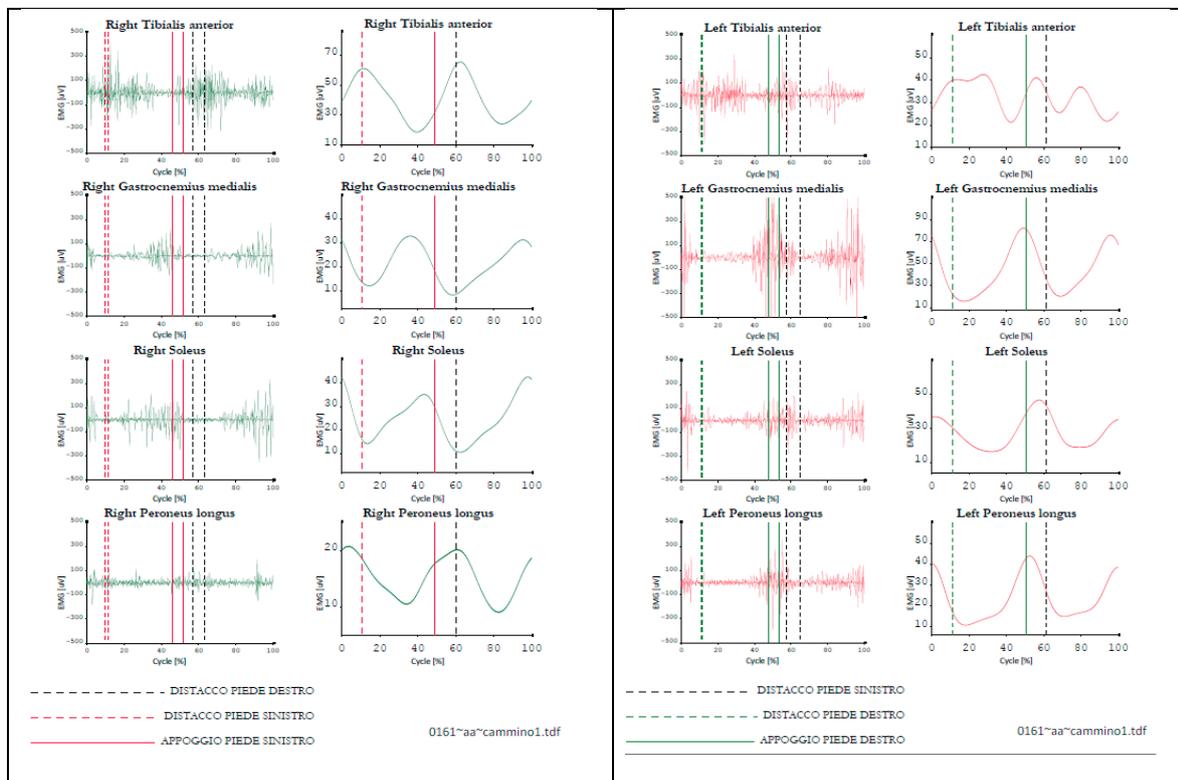
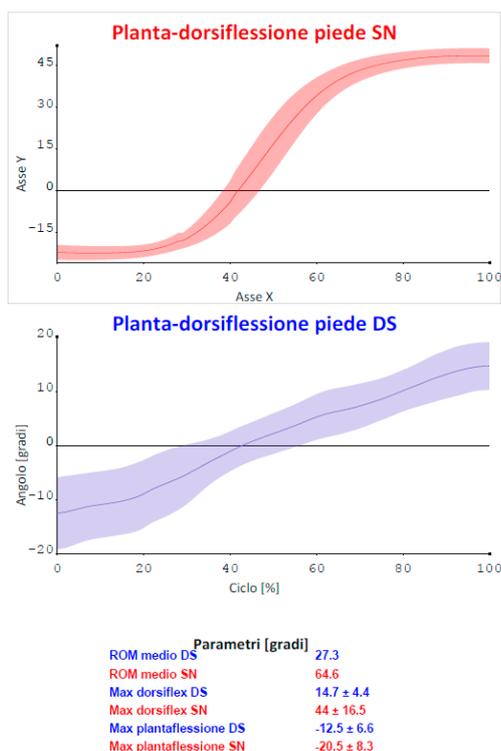


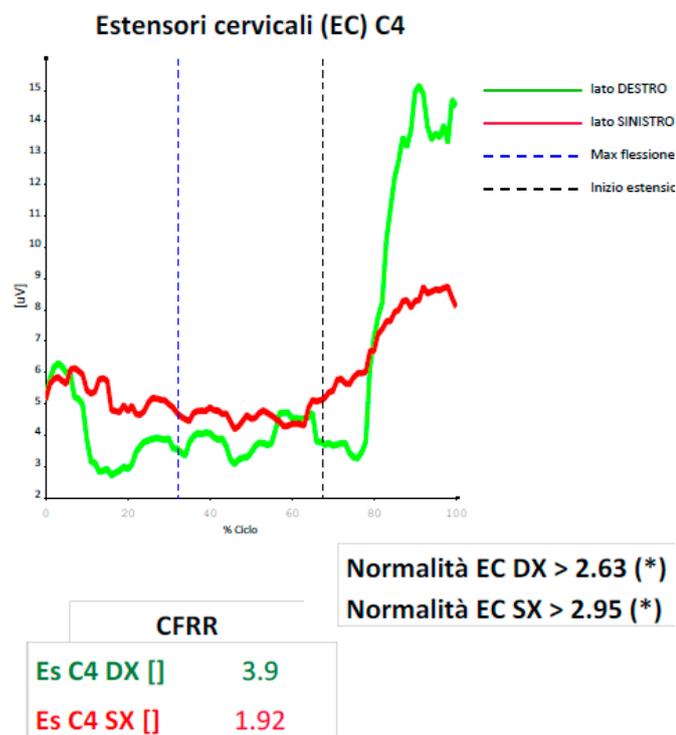
FIGURA 21

Analisi cinematica ed elettromiografia di superficie durante il cammino (figura sinistra mostra le attività dei muscoli indagati dell'arto destro mentre la figura destra mostra le attività dei muscoli indagati dell'arto sinistro nelle varie fasi del ciclo di cammino)



**FIGURA 22**

Analisi cinematica della dorsi-plantaflessione di caviglia sinistra e destra a confronto. È presente sia il valor medio di almeno 10 dorsi-flessioni e la variabilità attorno al valore centrale



CFRR = (RMS massimo durante la fase di estensione) / (CFRP)

CFRP = RMS medio durante la fase di mantenimento della massima flessione cervicale

**FIGURA 23**

Cervical Flexion-relaxation test <sup>(5)</sup>. Si tratta di una prova rivolta a capire la contrazione muscolare durante le fasi di flessione, massima flessione cervicale (dove l'attività dei muscoli dovrebbe essere silente) e nella fase di estensione. In figura la contrazione degli erettori cervicali in prossimità di C4 di sinistra sono rappresentati in rosso mentre i gli erettori cervicali di destra in verde

## ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Il soggetto presenta un appoggio podalico destro alterato, ovvero non sono presenti pressioni sull'avampiede. Inoltre il piede si presenta supinato con una differente inclinazione del tratto caviglia-tallone rispetto al controlaterale.

Questo dato è coerente con l'infortunio subito e questo deficit ha portato a spostare tutto il busto a sinistra, ad avere una superficie di appoggio nettamente maggiore a sinistra, oscillare in senso orario e di conseguenza, i segmenti corporei come il bacino, sono ruotati anch'essi in senso orario.

Dinamicamente lo svolgimento dell'elica podalica di destra è alterata come è anche presente un grande squilibrio nelle fasi di appoggio e di molti altri parametri registrati con l'analisi cinematica del cammino. Infatti, oltre alla fase di appoggio ridotta a destra e aumentata notevolmente a sinistra, anche il ROM in altezza del bacino durante la deambulazione è limitato e l'obliquità del bacino tra ciclo di cammino sinistro e destro è al di sotto dei limiti della norma in quanto il bacino tende a stare più basso durante il ciclo di cammino sinistro.

Con elettromiografia di superficie è stato inoltre evidenziato un alterato pattern motorio. Specialmente sull'arto destro il tibiale anteriore, gastrocnemio mediale e soleo risultano alterati sia nel timing sia ridotti come attività muscolare rispetto all'arto controlaterale <sup>(1) (2)</sup>.

Poi, la planta-dorsiflessione è enormemente limitata su caviglia destra e questo è plausibilmente la causa di tutti gli adattamenti posturali di cui sopra e sotto citati. Infine, anche a livello cervicale, i muscoli erettori di sinistra si trovano alterati durante il movimento di flesso-estensione. Questo comporta una sofferenza cervicale <sup>(5)</sup>.

Per concludere l'incidente subito sicuramente ha portato ad alterazioni posturali che vanno dall'alterata postura in posizione ortostatica ad un'alterata deambulazione. Inoltre, la conseguenza di tutto ciò è che si stanno sviluppando adattamenti posturali anche sulla parte alta del rachide come la parte cervicale, dimostrati dal fatto che l'attività muscolare è asimmetrica tra i due emilati.

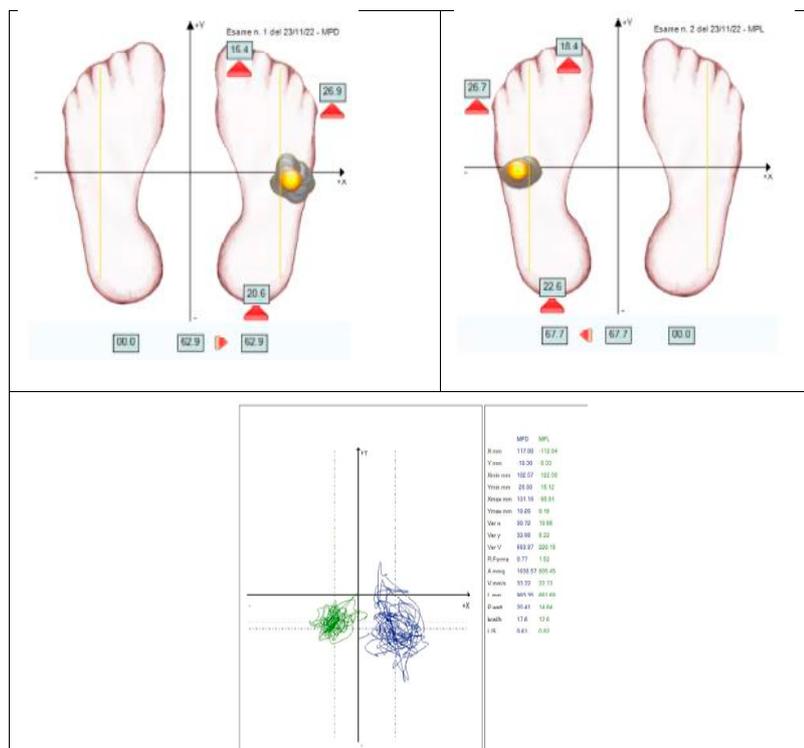
## QUINTO CASO

- Donna anno '75
- Operazione di "ricostruzione LPA e LPC ill. 2 ill. astragalica 3 toilette artroscopica x (ill. biologico con ill) ill. del grasso a destra" per instabilità di caviglia destra dovuta a multipli episodi distorsivi maggiori e minori della caviglia destra con esito di instabilità cronica, edema spongiosa astragalo e impingement ill. laterale.
- Nel 2018 diagnosticate grossolane alterazioni del corpo dell'astragalo in ipotesi di necrosi avascolare
- Nel 2019 diagnosticata Persistenza dei sintomi, DD avascolare necrosi dell'astragalo con/ associata a: Stato post ricostruzione del legamento astragalico anteriore e del legamento calcianofibulare con tendine semitendinoso, microfrattura di una lesione osteocondrale alla spalla laterale dell'astragalo, subcondroplastica dell'astragalo e integrazione biologica con tessuto adiposo dell'articolazione della caviglia

- Da dopo operazione il cliente riferisce:
  1. Lombalgia con prevalenza su emisoma destro
  2. Difficoltà nella deambulazione
  3. Dolore caviglia destra in prossimità del malleolo laterale e secondariamente mediale

La perizia biomeccanica posturale ha previsto i seguenti esami:

- Esame stabilometrico monopodalico destro, sinistro e bipodalico <sup>(V)</sup>
- Analisi cinematica del cammino <sup>(III)</sup>
- Analisi del cammino con elettromiografia di superficie <sup>(III) (IV)</sup>
- Analisi cinematica della dorsi-plantaflessione della caviglia <sup>(III)</sup>
- Analisi elettromiografia nel movimento di flessione-estensione lombare (flexion-relaxation phenomenon test) <sup>(III) (IV)</sup>



**FIGURA 24**

Esame stabilometrico monopodalico della durata di 30 sec. In alto a sinistra è presente l'appoggio monopodalico sinistro (MPL) e in alto a destra l'appoggio monopodalico destro (MPD). In basso è presente il gomito (centro di pressione nel tempo) dell'appoggio destro (in blu) e dell'appoggio sinistro (in verde)

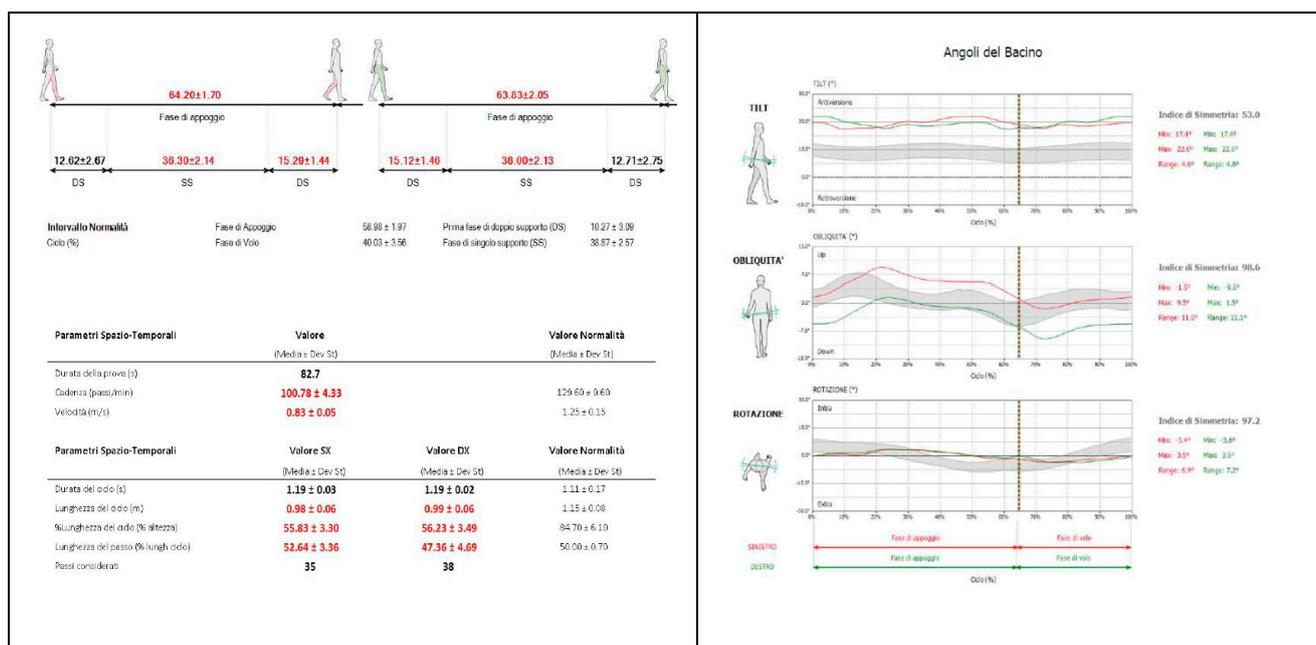


FIGURA 25

Analisi cinematica del cammino evidenziando i parametri spazio-temporali più importanti e confronto tra le rotazioni del bacino durante il ciclo di cammino sinistro (in rosso) e destro (in verde).

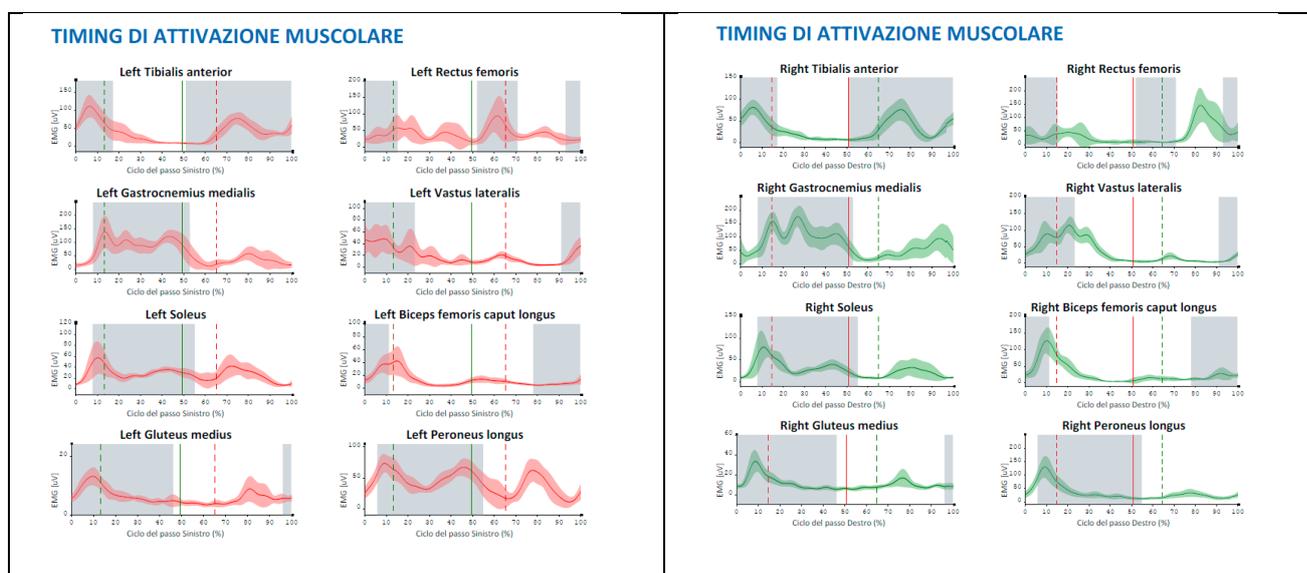


FIGURA 26

Analisi cinematica ed elettromiografia di superficie durante il cammino (la figura sinistra mostra le attività dei muscoli indagati dell'arto sinistro mentre la figura destra mostra le attività dei muscoli indagati dell'arto destro nelle varie fasi del ciclo di cammino)

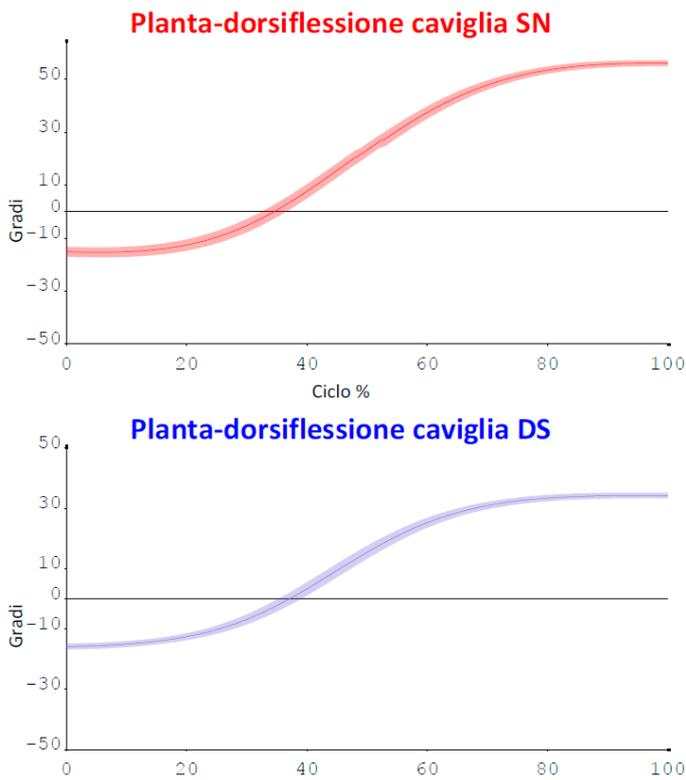


FIGURA 27

Analisi cinematica della dorsi-plantaflessione di caviglia sinistra e destra a confronto. È presente sia il valor medio di almeno 10 dorsi-flessioni e la variabilità attorno al valore centrale

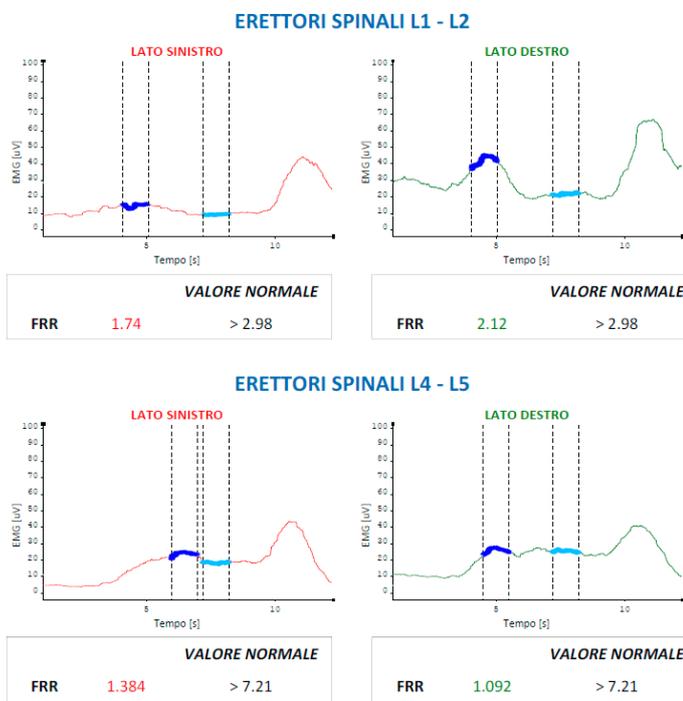


FIGURA 28

Flexion-relaxation phenomenon test come Figura 18

## ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Il soggetto presenta una instabilità podalica destra evidenziata da analisi stabilometrica bipodalica e monopodalica e un maggiore carico in prossimità del V metatarso sinistro. Dall'analisi cinematica invece emerge un accorciamento del passo destro e rotazioni del bacino sui tre assi non simmetriche in quanto il soggetto antiverte maggiormente durante la fase di appoggio nel ciclo di cammino sinistro e presenta un grande abbassamento del bacino durante il ciclo di cammino destro. Per finire, il ROM del bacino in rotazione è molto ridotto.

Questa alterata deambulazione è anche spiegata dall'analisi elettromiografia di superficie <sup>(1) (2)</sup> durante il cammino in quanto è evidente:

- come il peroniero lungo non si attivi per niente nella fase di spinta, toe-off e prima parte di swing, non consentendo al piede di svolgere l'elica podalica durante la fase di supporto e di controllare la sua dorsi-flessione nella fase di volo
- come il retto femorale non si attivi bilateralmente nella fase di heel strike non facilitando l'estensione del ginocchio e piede nella fase di heel strike, e come sia presente una sua errata attivazione nella fase di swing
- una scarsa attivazione del vasto laterale che dovrebbe assistere l'estensione del ginocchio nella fase di singolo supporto e il carico durante la fase di heel strike
- come il soleo sia preattivato bilateralmente non consentendo una spinta adeguata nella fase di propulsione

Le alterazioni dei parametri della cinematica, sulle attivazioni muscolari nella deambulazione e i parametri della posizione eretta, sono molto probabilmente causati da un ridotto ROM articolare della caviglia destra (con prevalenza nel movimento di dorsiflessione) come dimostrato dall'analisi cinematica, i quali provocano una continua contrazione profonda degli erettori spinali (soprattutto quelli in prossimità di L4-L5) e quindi generano low back pain, come dimostrato dal test di flexion relaxation sempre con elettromiografia di superficie <sup>(4)</sup>.

Tutti questi dati sono coerenti con il danno subito e con le algie riferite dal cliente

**SESTO CASO**

- Uomo anno '74
- Nel 2023 trauma distorsivo-contusivo della caviglia destra, ginocchio destro, polso destro e spalla destra (trauma da scivolamento per strada)
- All'esame obiettivo: dolore alla digitopressione e limitazione funzionale della caviglia destra, presenza di edema da versamento post-trauma distorsivo della caviglia, dolore del ginocchio destro e limitazione funzionale, dolore polso destro e spalla destra con impotenza funzionale, non altri traumi
- Alla consulenza ortopedica:
  1. politrauma con sub lussazione spalla destra, distorsione ginocchio destro con emartro
  2. affetto da politrauma con sublussazione spalla destra distorsione ginocchio dx con emartro, lesione II LCM e lesione m. mediale, distorsione tibio tarsica destra con lesione PAA e FC
- All'esame ecografico:
  1. Spalla destra: il tendine del CLB appare circondato da falda fluida e mostra tendenza alla sublussazione esterna. Il tendine del sovraspinato appare alterato nella sua ecogenicità, assottigliato deflesso e con tratti delle sue fibre mal definibili, si associa modesta falda fluida in sua adiacenza in espressioni di lesione lacerativa di grado elevato. Alterato nella sua ecogenicità appare il tendine del sottoscapolare al suo terzo laterale per lesione lacerativa parziale. Disomogeneo appare il legamento acromion-claveare per lesione distrattiva
  2. Polso destro: discreta falda fluida che circonda i tendini estensori propri del II° e soprattutto III° dito in quadro di tendinite post traumatica. Piccolo ganglio artrogeno si rileva a livello dell'articolazione radio-carpica sul versante dorsale. Nei limiti appaiono i tendini flessori propri delle dita
  3. Ginocchio destro: Il legamento collaterale mediale appare deflesso e disomogeneo per alterazione su base lacerativa di alto grado. I muri meniscali appaiono disomogenei in particolare sul comparto interno
  4. Caviglia destra: alterazione della morfologia e dell'ecogenicità del legamento peroneo calcaneare che mostra anche discreta falda fluida in sua adiacenza in quadro di lesione lacerativa

di alto grado. Il legamento peroneo astragalico anteriore appare moderatamente assottigliato e con limitata falda fluida in sua adiacenza per alterazione su base lacerativa di grado medio-elevato

- Lamenta:
  1. dolore e rigidità alla spalla destra
  2. ipostenia all'arto superiore omolaterale con difficoltà al sollevamento di gravi
  3. dolore e rigidità al polso destro
  4. dolore e rigidità al ginocchio destro
  5. dolore all'emirima mediale
  6. sensazione di instabilità al ginocchio leso
  7. facile fatigabilità alla protratta stazione eretta
  8. difficoltà alla deambulazione su superfici accidentate e nello scendere e salire le scale
  9. dolore e rigidità alla caviglia destra
  10. difficoltà nella deambulazione spedita su superfici accidentate e nello scendere e salire le scale

La perizia biomeccanica posturale ha previsto i seguenti esami:

- Esame stabilometrico monopodalico destro e sinistro<sup>(V)</sup>
- Analisi elettromiografica di superficie e analisi cinematica durante l'abduzione di spalla<sup>(III) (IV)</sup>
- Analisi elettromiografica di superficie e analisi cinematica durante la flessione di spalla<sup>(III) (IV)</sup>
- Analisi cinematica della dorsiflessione del polso<sup>(III)</sup>
- Analisi elettromiografia nel movimento di flesso-estensione lombare (flexion-relaxation phenomenon test)<sup>(III) (IV)</sup>

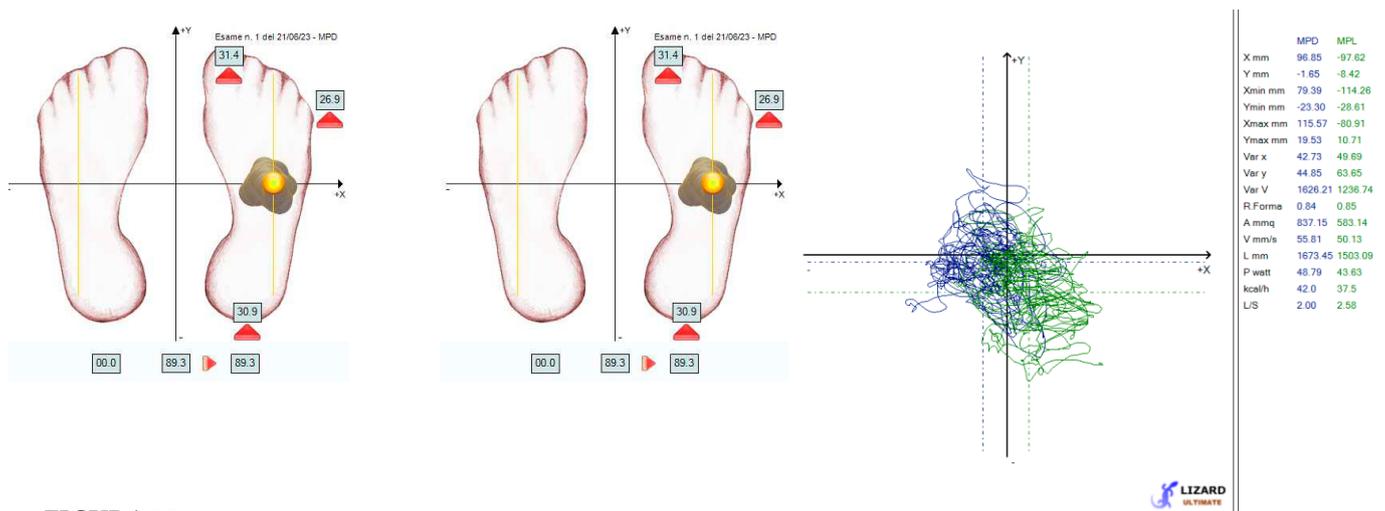


FIGURA 29

Esame stabilometrico monopodale della durata di 30 sec. In alto a sinistra è presente il test monopodale sinistro (MPL) e in alto a destra il test monopodale destro (MPD). In basso è presente il gomito (centro di pressione nel tempo) dell'appoggio monopodale destro (in blu) e dell'appoggio monopodale sinistro (in verde)

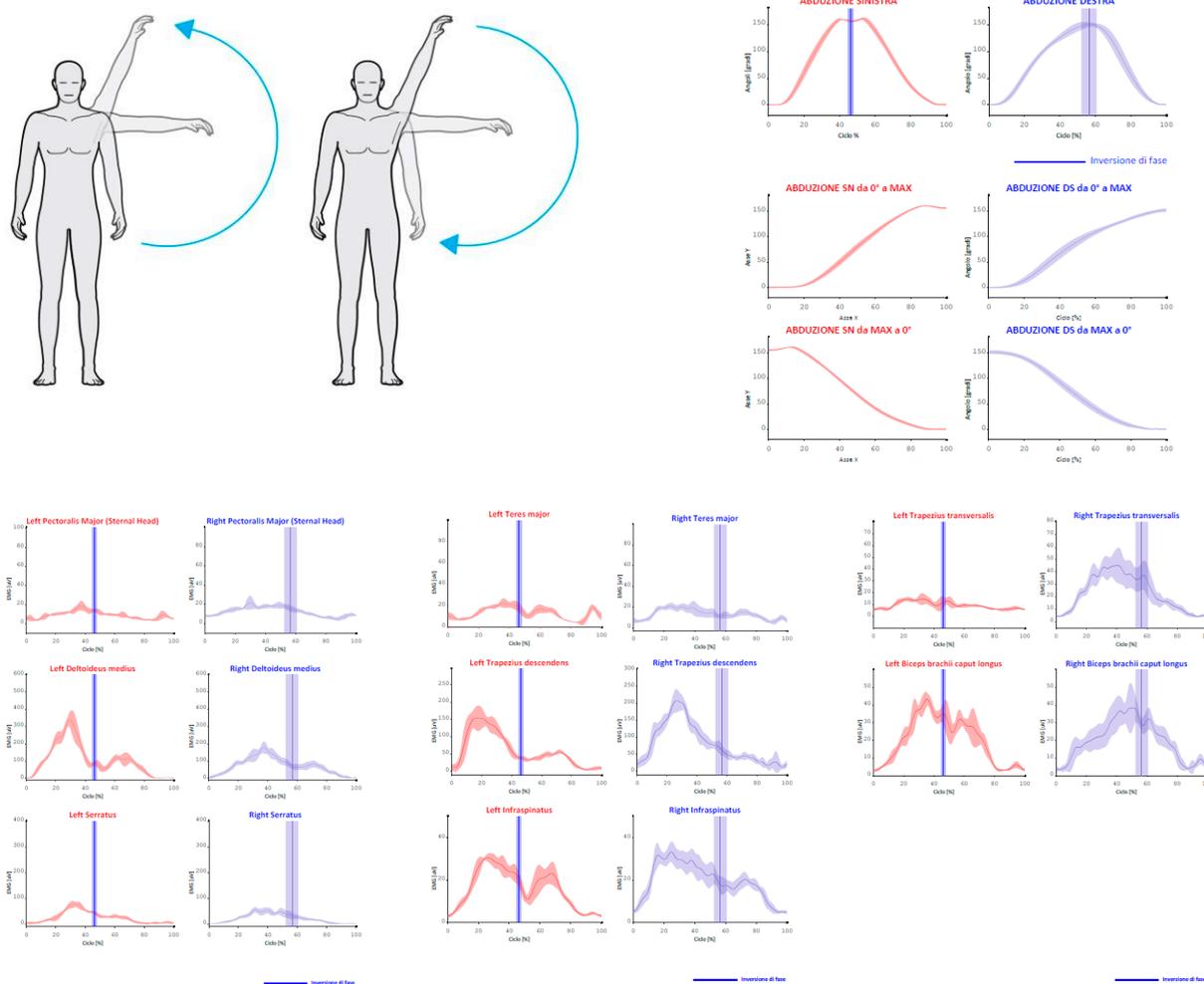
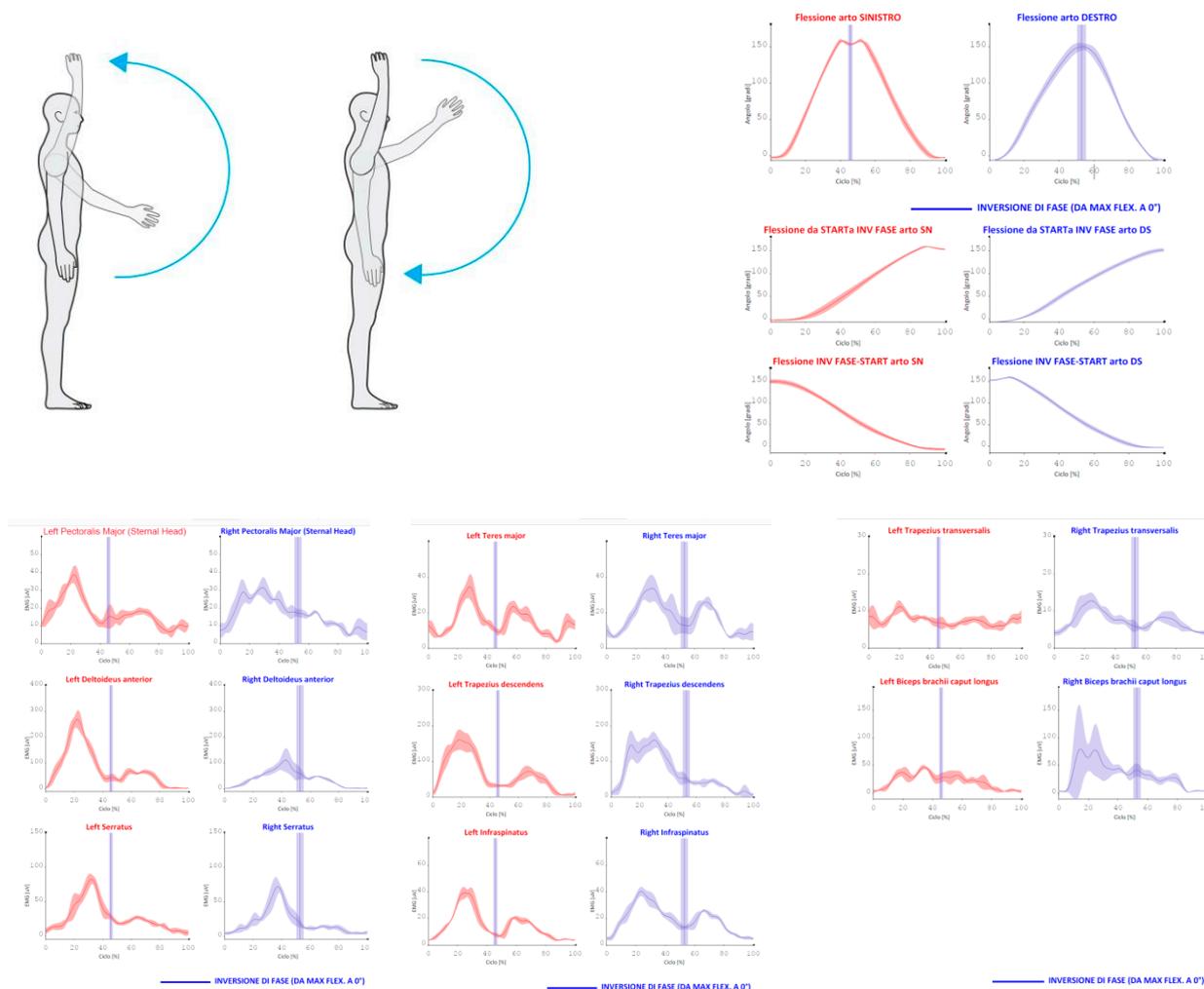


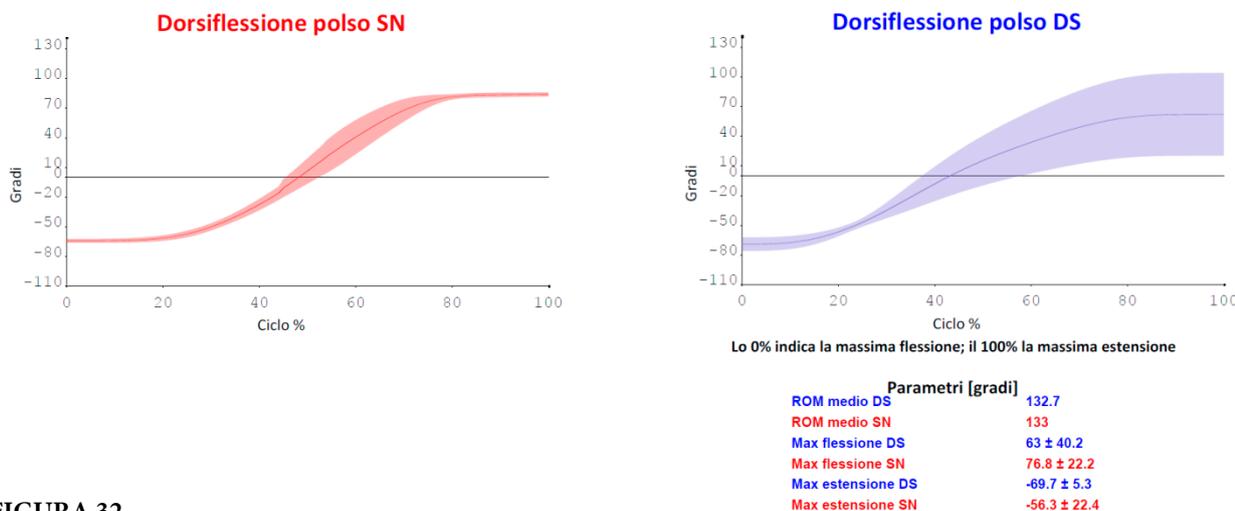
FIGURA 30

Analisi elettromiografica di superficie e analisi cinematica nell'abduzione di spalla (6). In alto a destra il ROM articolare di abduzione di spalla con le relative fasi di andata (0% indica il momento in cui l'arto giace lungo la linea verticale che determina l'inversione di fase) e ritorno (dalla linea verticale che indica l'inversione di fase al 100% ovvero il momento in cui l'arto si trova al punto di partenza dopo aver effettuato la massima abduzione). Nelle figure in basso sono presenti le attivazioni muscolari dei vari muscoli presi in esame nelle varie fasi di abduzione di spalla. Sia l'esame cinematico che elettromiografico mostrano il valore medio di almeno 10 abduzioni di spalla consecutive e la variabilità attorno al valore centrale



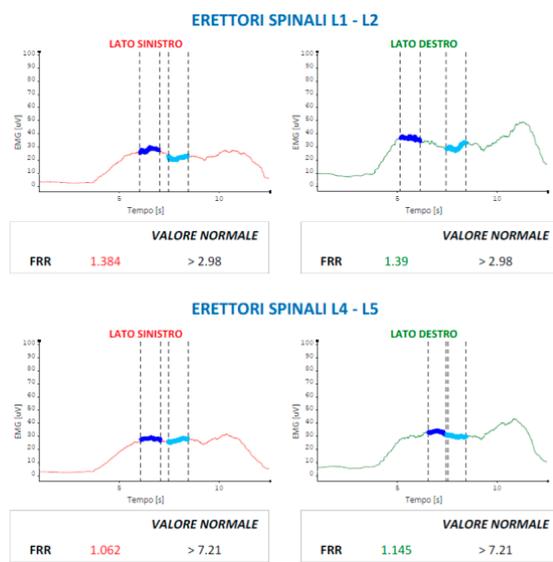
**FIGURA 31**

Analisi elettromiografica di superficie e analisi cinematica nella flessione di spalla. In alto a destra il ROM articolare di flessione di spalla con le relative fasi di andata (0% indica il momento in cui l'arto giace lungo il fianco fino alla linea verticale che determina l'inversione di fase) e ritorno (dalla linea verticale che indica l'inversione di fase al 100% ovvero il momento in cui l'arto si trova al punto di partenza dopo aver effettuato la massima flessione). Nelle figure in basso sono presenti le attivazioni muscolari dei vari muscoli presi in esame nelle varie fasi di flessione di spalla. Sia l'esame cinematico che elettromiografico mostrano il valore medio di almeno 10 flessioni di spalla consecutive e la variabilità attorno al valore centrale



**FIGURA 32**

Analisi cinematica della flessione-estensione del polso destro e sinistro a confronto. È presente sia il valor medio di almeno 10 flessione-estensioni e la variabilità attorno al valore centrale

**FIGURA 33**

*Flexion Relaxation Phenomenon test come descritto in Figura 18*

## ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Il cliente presenta un'instabilità dell'arto inferiore destro come dimostrato dal test stabilometrico di appoggio monopodalico. Difatti quando viene eseguita questa prova i valori stabilometrici peggiorano significativamente sull'arto inferiore destro rispetto alla rispettiva prova sull'arto inferiore sinistro.

Inoltre è presente una limitazione articolare sul polso destro come dimostrato dall'analisi cinematica della flessione-estensione del polso. In aggiunta, è presente una limitazione di movimento e una differente attivazione di alcuni muscoli studiati con elettromiografia di superficie, sia nell'abduzione che nella flessione di spalla destra rispetto all'arto superiore sinistro.

Specificatamente è presente un deficit di attivazione del deltoide medio nell'abduzione, con conseguente iperattivazione del trapezio trasverso e discendente <sup>(6)</sup>. Anche la variabilità di questo movimento è molto maggiore rispetto all'abduzione controlaterale indicando una certa sofferenza e difficoltà a replicare nel tempo lo stesso task motorio.

In pratica, molto plausibilmente a causa dell'infortunio subito, per consentire l'abduzione della spalla ed essendo presente un deficit di attivazione del principale muscolo deputato a questo task motorio, ovvero il deltoide medio, sono presenti dei compensi con conseguente iperattivazione dei

restanti muscoli citati precedentemente. La solita dinamica avviene con il movimento di flessione della spalla in cui è presente una grande variabilità di movimento sull'arto superiore destro rispetto al controlaterale, una riduzione di ROM articolare, una ipoattivazione del deltoide medio e iperattivazione del bicipite brachiale.

Quest'ultimo, essendo anch'esso un muscolo che partecipa alla flessione delle spalla, in questo caso si trova a compensare il deficit di attivazione del deltoide anteriore, principale muscolo deputato alla flessione di spalla.

Tutti questi scompensi posturali hanno sicuramente portato a low back pain come riferito dal cliente e come dimostrato dal test elettromiografico di superficie <sup>(4)</sup>, che mostra come i muscoli paravertebrali in prossimità di L1-L2 e L4-L5 siano costantemente attivi anche nelle fasi in cui dovrebbero rimanere silenti.

Questi dati sono coerenti con i sintomi e l'infortunio subito.

**SETTIMO CASO**

- Ragazza anno '88
- Nel 2022 urtata da auto mentre attraversava strisce pedonali con conseguente caduta accidentale
- Dolore rachide cervicale, regione sacrale, ginocchio sinistro e caviglia sinistra come riferito al pronto soccorso
- A RX rettilineizzazione del tratto cervicale
- Dopo mesi manifesta costante cervicalgia con contratture muscolari, marcata rigidità e limitazione funzionale nei movimenti di rotazione, flessione laterale e flesso-estensione
- Accentuazione di pregresse problematiche alla ATM bilateralmente (come diagnosticato da gnatologi) con peggioramento della funzionalità articolare bilaterale con blocco di apertura e nei movimenti, con dolore anche a riposo e crampi ai muscoli masticatori. Inoltre a questo blocco articolare è stato associato una cefalea tensiva invalidante, acufeni ed episodi di disfagia
- Presenta malocclusione con open bite anteriore, importante rimaneggiamento artrosico delle teste condilari bilateralmente, ridotta traslazione degli stessi in apertura e dislocazione anteriore di entrambi i menischi
- In attesa di nuovo intervento maxillo-facciale dopo trattamento ortodontico fisso su entrambe le arcate

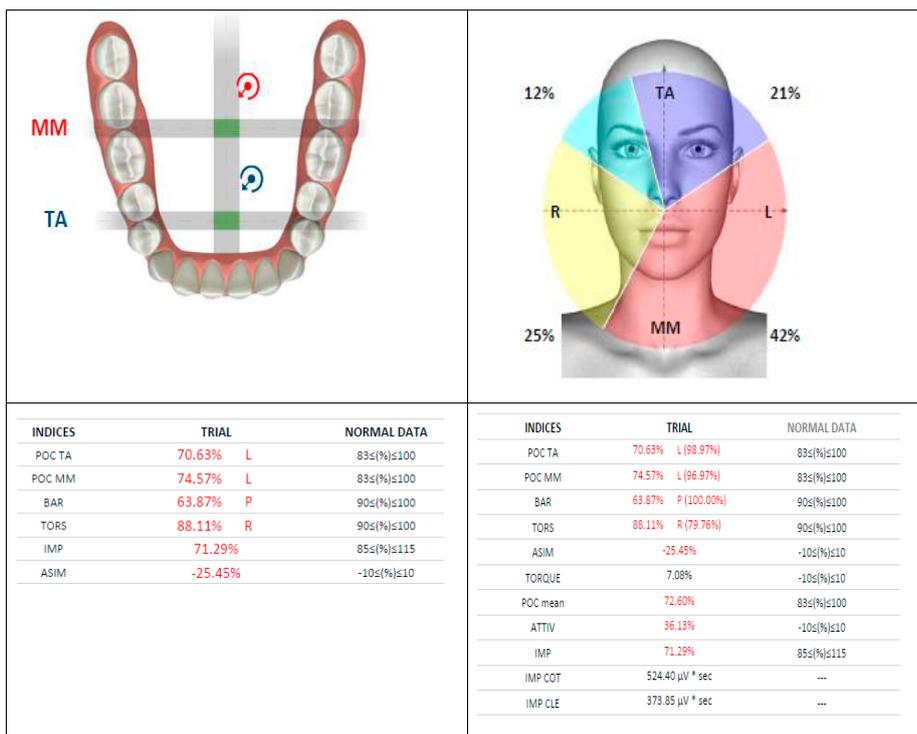
L'avvocato di parte convoca lo studio Bernardini per una perizia biomeccanica posturale, in ausilio alla valutazione medico-legale per capire se un urto di una macchina sul ginocchio, con conseguente caduta rovinosa sulla regione glutea, abbia potuto aggravare e accentuare le gravi e preesistenti problematiche stomatognatiche.

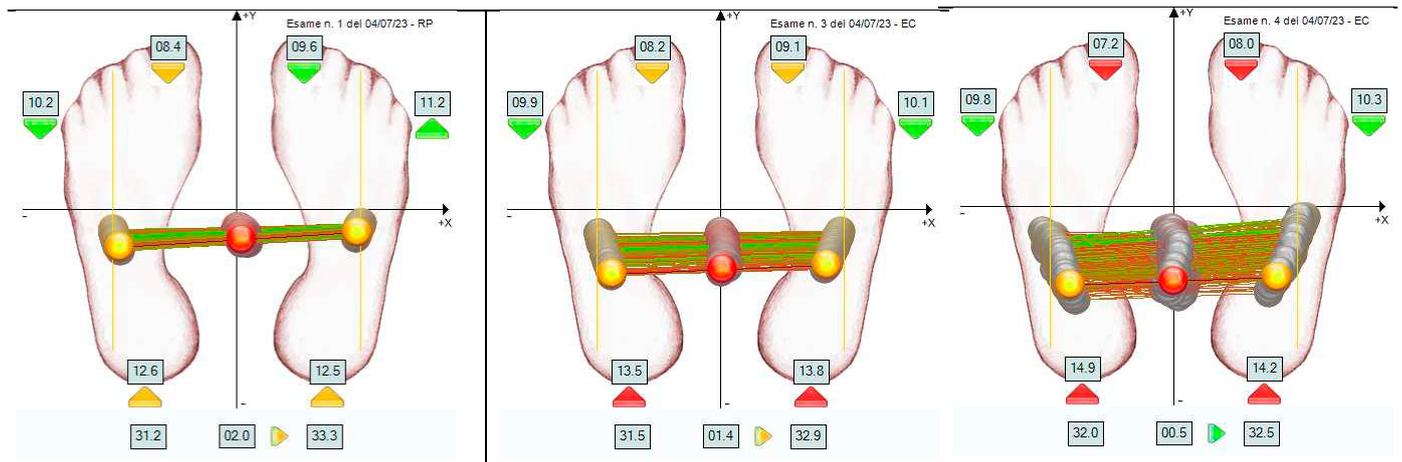
La perizia biomeccanica posturale ha previsto i seguenti esami:

- Analisi funzionale dell'occlusione dentale <sup>(IV)</sup>
- Stabilometria <sup>(V)</sup>
- Test di rotazione assiale del capo (muscoli studiati: erettori spinali in prossimità di C4 e sternocleidomastoidei) <sup>(III) (IV)</sup>
- Analisi cervicale nel test di Cervical Flexion-Relaxation Flexion- relaxation test <sup>(III) (IV)</sup>

**FIGURA 34**

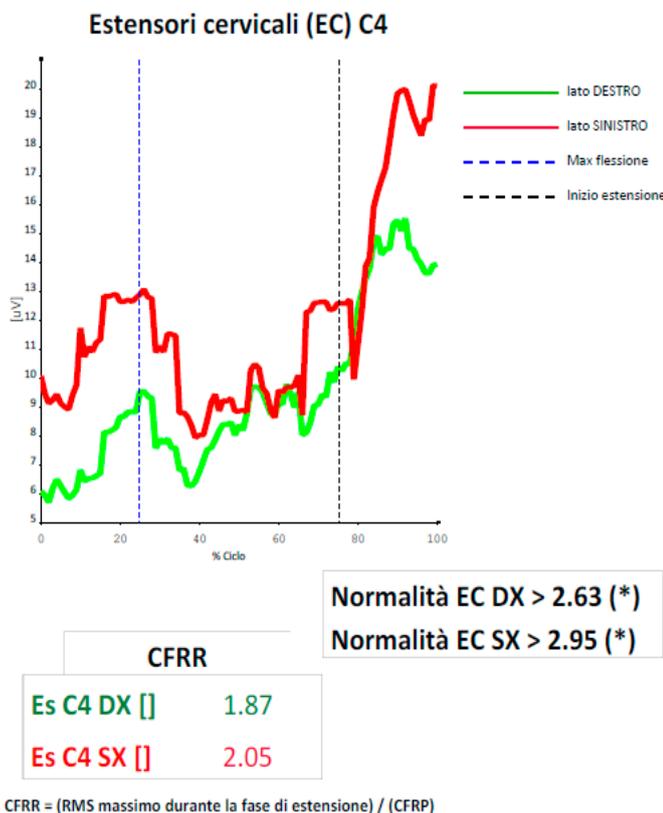
Analisi funzionale dell'occlusione dentale con elettromiografia di superficie. A sinistra è presente la rappresentazione del baricentro occlusale posteriore e anteriore; in alto a destra la rappresentazione le percentuali di attivazione dei muscoli temporali e masseteri durante il test di occlusione rispetto alle rispettive massime contrazioni volontarie; in basso i parametri elettromiografici di interesse clinico (es: la torsione, ovvero la tendenza alla latero-deviazione mandibolare, il lavoro muscolare totale, la simmetria tra muscoli omologhi e tra muscoli omolaterali ecc...)





**FIGURA 35**

Esame stabilometrico. In alto a sinistra il test in posizione di rest position, in alto a destra test con occhi chiusi e in basso il test ad occhi chiusi con testa reclinata



**FIGURA 36**

Cervical Flexion-relaxation test come descritto in Figura 23

### ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Il cliente presenta un disturbo temporomandibolare (TMJ disorder) già diagnosticato da numerosi specialisti ed evidenziato strumentalmente con analisi funzionale dell'occlusione dentale con elettromiografia di superficie in questa perizia. I dati sono coerenti con gli studi svolti da Ferrario et al (7).

I dati stabilometrici evidenziano, inoltre, come sia presente un'interferenza cervicale dovuta ad un whiplash, in cui il riflesso vestibolo-spinale viene alterato provocando quello che viene denominato "balance disorder" e come viene riportato dalla letteratura (8).

In questo caso i dati sono coerenti con l'infortunio subito. Inoltre è plausibile che il trauma abbia provocato low back pain, sintomo riferito dalla cliente e come è dimostrato dalla prova di flexion-relaxation, i cui dati sono coerenti anch'essi con la letteratura (4).

Il whiplash, come descritto da molti articoli tra i quali quello proposto da Murphy (5), sembra essere implicato nella contrazione continua dei muscoli erettori cervicali anche nelle fasi in cui l'attività di questi muscoli dovrebbe essere silente, e anche con sintomi che si protraggono nel tempo (9) (10).

Anche nel caso della cliente i dati acquisiti sono coerenti con quelli riportati in letteratura, e quindi compatibili con il sinistro subito.

Il soggetto riferisce la presenza di contratture cervicali e disturbi nella coordinazione della mandibola e di movimenti cervicali. Tutti questi sintomi sono coerenti con diverse review presenti in letteratura

e di come questi siano associati a qualunque tipo di incidente stradale (road traffic accident), anche se parliamo di sinistri subiti da pedoni come in questo caso (11). Si aggiunge infine un ridotto ROM nella rotazione assiale del capo verso sinistra con aumento della variabilità durante questo movimento, indicando che anche in questo caso è presente una sofferenza cervicale coerente con quanto riportato nella documentazione medica.

Per concludere, i dati riportati sono tutti coerenti con la letteratura e con i sintomi riferiti dal soggetto. Da sottolineare il fatto che il nesso causale tra whiplash e TMJ disorder è abbondantemente descritto dalla comunità scientifica, e secondo l'articolo di Haggman Henrikson e al. (12) il whiplash può addirittura causare o aggravare la sintomatologia del disordine temporomandibolare già preesistente.

**OTTAVO CASO**

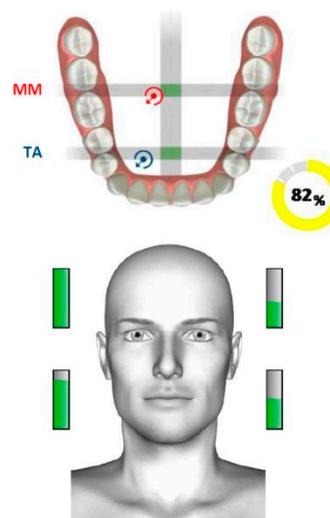
- Ragazzo anno '83
- Nel 2016 tamponamento con conseguente strappo della cintura
- Nel 2015 ricoverato per parestesie lato sinistro del corpo
- Eventi stressanti nel 2015 con conseguente ansia, attacchi di panico. Per questo è stato ricoverato 3 giorni in ospedale e sottoposto a trattamento con psicofarmaci con conseguente farmacoterapia della durata di 3 anni.
- Dal 2015 al 2018 comparsi tremori
- Dall'anno 2017 comparsa vertigini soggettive
- Da dicembre 2021 impossibilitato ad andare a lavoro (impiegato con la mansione di videoterminalista) per la sintomatologia di vertigini soggettive da seduto e frequentemente nella deambulazione
- Con le vertigini soggettive riferisce nausea, fiato corto e diaframma bloccato
- Le vertigini soggettive non sono presenti durante la guida di moto o macchina

Il medico legale e l'avvocato fanno richiesta di una perizia biomeccanica posturale e di uno studio approfondito della letteratura scientifica per capire se ci sia un nesso di casualità tra problematiche posturali e sintomatologia riportata dal soggetto.

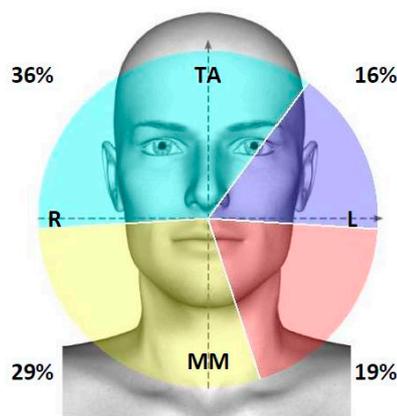
La perizia biomeccanica posturale ha previsto i seguenti esami:

- Analisi funzionale dell'occlusione dentale (IV)

- Stabilometria (V)
- Test di rotazione assiale del capo (muscoli studiati: erettori spinali in prossimità di C4 e sternocleidomastoidei) (III) (IV)
- Analisi cervicale nel test di Cervical Flexion-Relaxation test
- Analisi cinematica del cammino (III) (IV)



INDICES	TRIAL	NORMAL DATA
POC TA	62.32% R	83≤(%)≤100
POC MM	76.25% R	83≤(%)≤100
BAR	91.17% A	90≤(%)≤100
TORS	89.64% R	90≤(%)≤100
IMP	75.03%	85≤(%)≤115
ASIM	30.25%	-10≤(%)≤10



**FIGURA 37**

Analisi funzionale dell'occlusione dentale con elettromiografia di superficie. Test identico a quello raffigurato in Figura 34

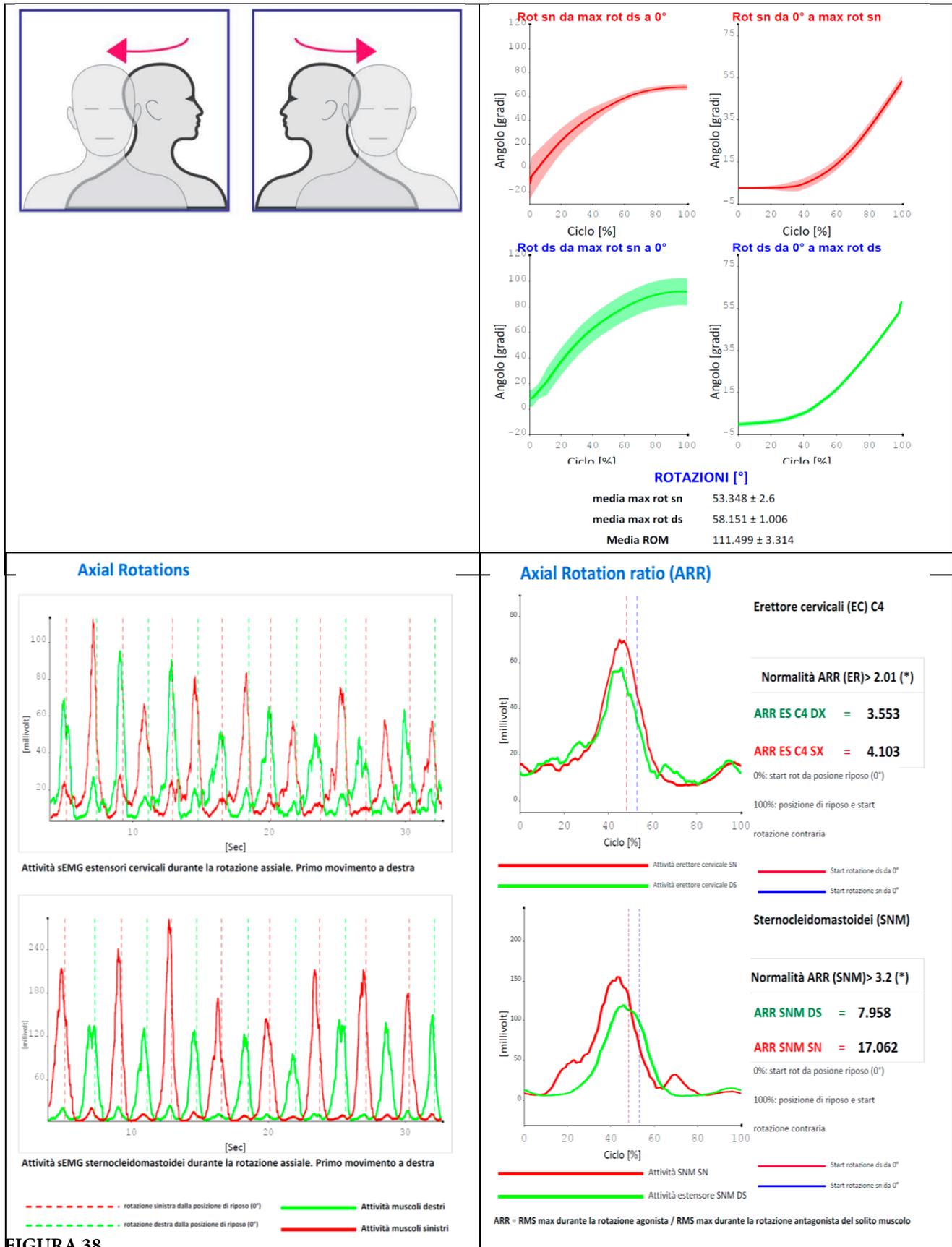
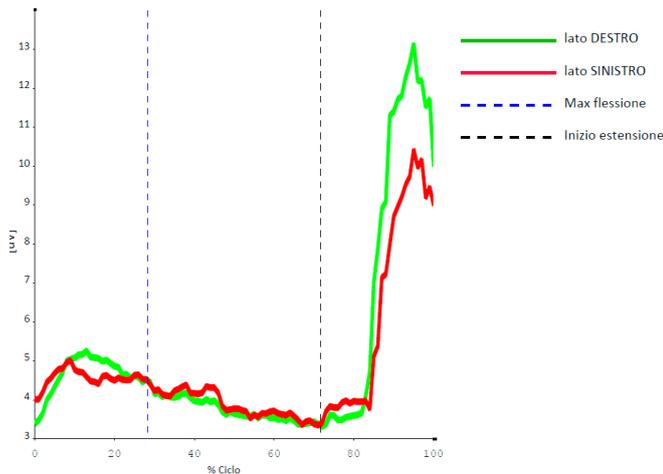


FIGURA 38

Test elettromiografico e cinematico durante la rotazione assiale della testa. Viene valutato sia il ROM articolare della rotazione assiale destra e sinistra della testa e la variabilità del movimento nelle varie fasi della rotazione, come rappresentato nella figura in alto a destra, sia l'attivazione muscolare durante le rotazioni ripetute (almeno 10 ripetizioni) degli erettori cervicali e gli antagonisti sternocleidomastoidei come rappresentato nella figura in basso a sinistra. In basso a destra sono invece rappresentate le contrazioni muscolari mediate su tutte le ripetizioni effettuate e l'indice ARR che come descritto da DeVocht <sup>(13)</sup> è un parametro importante per capire la possibile interferenza cervicale e quindi la cervicalgia presente dovuta ad un aumento di contrazione muscolare della fase antagonista rispetto a quella presente nella fase agonista

**Cervical Flexion-Relaxation Phenomenon (CERP)**

**Estensori cervicali (EC) C4**



Normalità EC DX > 2.63 (\*)

Normalità EC SX > 2.95 (\*)

**CFRR**

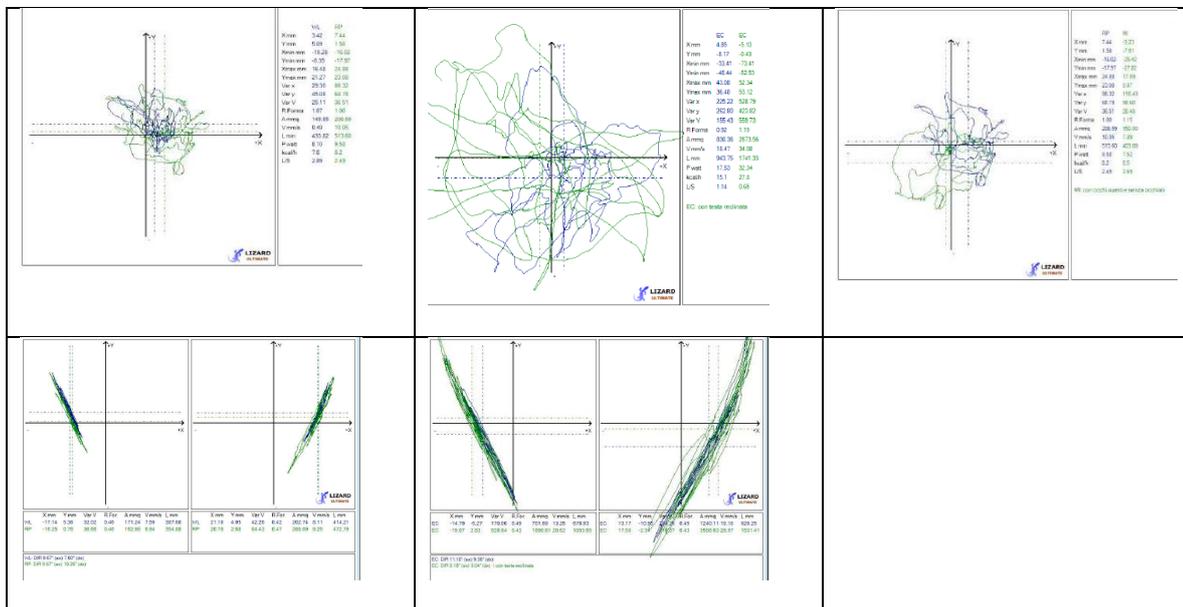
Es C4 DX [] 3.53  
Es C4 SX [] 2.72

FRR = (RMS massimo durante la fase di estensione) / (CFRR)

FRP = RMS medio durante la fase di mantenimento della massima flessione cervicale

**FIGURA 39**

Cervical Flexion Relaxation test come descritto in Figura 23



**FIGURA 40**

Analisi stabilometrica. In alto a sinistra il confronto tra le oscillazioni (come si distribuisce il centro di pressione nell'arco di 51 sec) nelle condizioni ad occhi aperti con lenti correttive (RP-WL) e solamente ad occhi aperti (RP); nel centro in alto le condizioni ad occhi chiusi (EC) e ad occhi chiusi con testa reclinata (EC-R); in alto a destra è presente il confronto tra occhi aperti (RP) e massima intercuspiazione (MI); in basso a sinistra vengono rappresentati i centri di pressioni sull'arto sinistro e destro portando lenti correttive e ad occhi aperti (WL) e senza lenti correttive (RP); in basso destra invece vengono rappresentati i centri di pressioni sull'arto sinistro e destro le condizioni ad occhi chiusi (EC) e ad occhi chiusi con testa reclinata (EC-R)

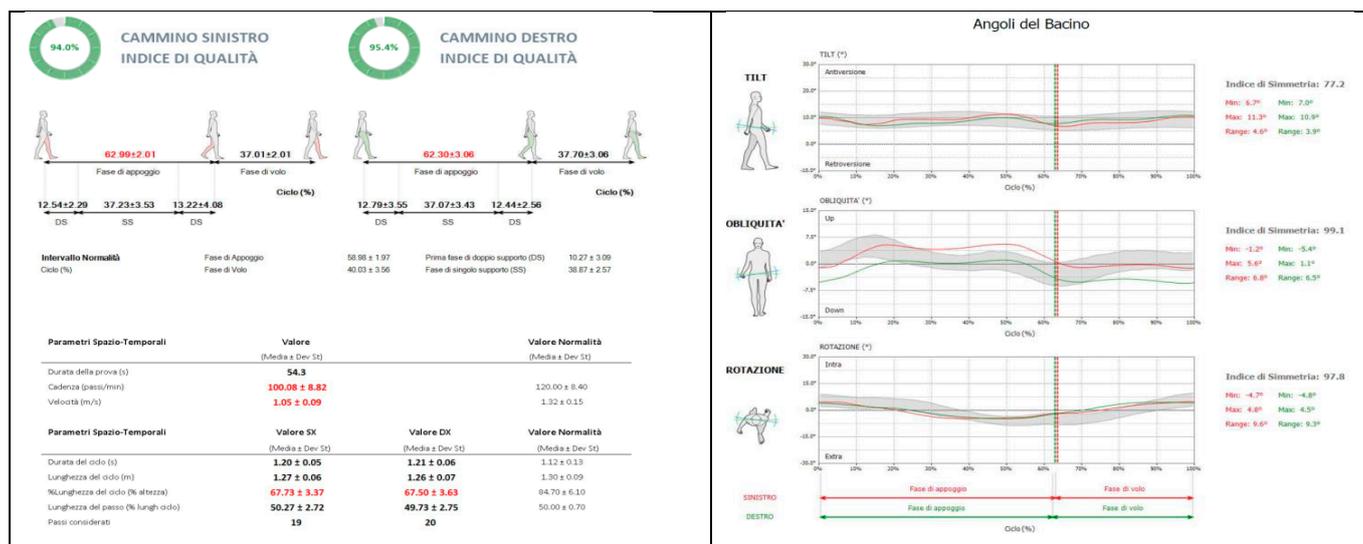


FIGURA 41

Analisi cinematica del cammino come descritta in Figura 5

## ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Il soggetto presenta una forte mancanza di equilibrio nelle condizioni di occhi chiusi e specialmente ad occhi chiusi con testa reclinata. Come indica l'articolo di Nacci et al. (8), quando si subisce un whiplash il riflesso vestibolo-spinale potrebbe essere danneggiato come dimostrato dai dati stabilometrici. L'equilibrio migliora in tutte le condizioni ad occhi aperti e specialmente indossando lenti correttive, ancor di più tenendo le arcate dentali in massima intercuspazione.

Dunque, è evidente che primariamente vi sia un problema di equilibrio dovuto ad un deficit vestibolare, poiché appunto lo squilibrio si evidenzia soprattutto ad occhi chiusi (escludendo quindi le altre afferenze posturali).

Secondariamente è presente un problema di oculomotricità, già diagnosticato da specialisti e correlato da questi test ad un deficit posturale. Questi dati sono in linea con i risultati presenti in letteratura. Sebbene il soggetto presenti anche una malocclusione, già diagnosticata da specialisti e studiata in questa perizia grazie ad esame elettromiografico di superficie, questa non comporta una vera interferenza a carico del sistema tonico posturale.

Concludendo, le condizioni risultano essere peggiori nelle condizioni ad occhi chiusi, dove l'influenza vestibolare e propriocettiva plantare giocano un ruolo primario nell'equilibrio di una persona.

In aggiunta, dall'analisi cinematica del cammino risulta che i parametri della deambulazione sono complessivamente corretti, come anche i dati relativi ai movimenti cervicali studiati sia cinematicamente che con elettromiografia di superficie.

Tutti questi risultati sono coerenti con la sindrome Dizziness Posturale Percettivo Persistente (PPPD) studiata da Staab et al. (13).

I criteri diagnostici individuati dalla Barany Society nel 2017 (14) la definiscono come "presenza di vertigine o instabilità per la maggior parte dei giorni in un arco di tempo minimo di 3 mesi".

La sintomatologia non è necessariamente presente per tutta la giornata, e si manifesta senza che sia indotta da fattori scatenanti ma esacerbata da alcuni fattori:

- Postura eretta
- Movimento attivo e/o passivo
- Esposizione a stimoli visivi in movimento o percezione visiva di ambienti complessi

Il paziente affetto da questa sindrome riferisce sensazioni di **dondolamento, ondeggiamento, con incapacità al mantenimento dell'equilibrio e della stabilità posturale esacerbata in posizione eretta e non necessariamente da seduti guidando e spesso peggiora durante la deambulazione senza che questa sia compromessa. Inoltre la sintomatologia spesso può peggiorare da seduti osservando schermi come ad esempio il pc.**

Questa sindrome è anche innescata da colpo di frusta (whiplash), nel 15% dei casi.

Inoltre, questo tipo di sindrome non è diagnosticabile con test di imaging convenzionale (13) (14).

**NONO CASO**

- Ragazzo anno '82
- Investito sulle strisce pedonali nell'ottobre 2012, e sbalzato ad una distanza di 30-35 m dalla posizione dell'impatto. L'impatto primario è avvenuto sul fianco sinistro, mentre la caduta a destra
- Riporta trauma cranico con rima di frattura scomposta osso nasale destro, tumefazione e perdita di sostanza delle parti molli frontale mediana - paramediana destra, frattura composta della scapola che coinvolge superficie articolare della glena e processo acromiale, rottura pluriframmentaria, sostanzialmente composta, della porzione supero-posteriore del tetto acetabolare di destra. Piccoli, multipli addensamenti nel LSD e nel LID anche con aspetto a "tree in bud" di verosimile significato flogistico; addensamento, di analogo significato, nel LIS. Parziale atelectasia del LSD. Disventilazione del LM e del LSS. Diffuse ed avanzate manifestazioni di enfisema centroacinare con associate bronchiectasie del LIS e del LID. Non PNX ne significativo versamento pleuro-pericardico. Minimo enfisema sottocutaneo della parete toracica a destra

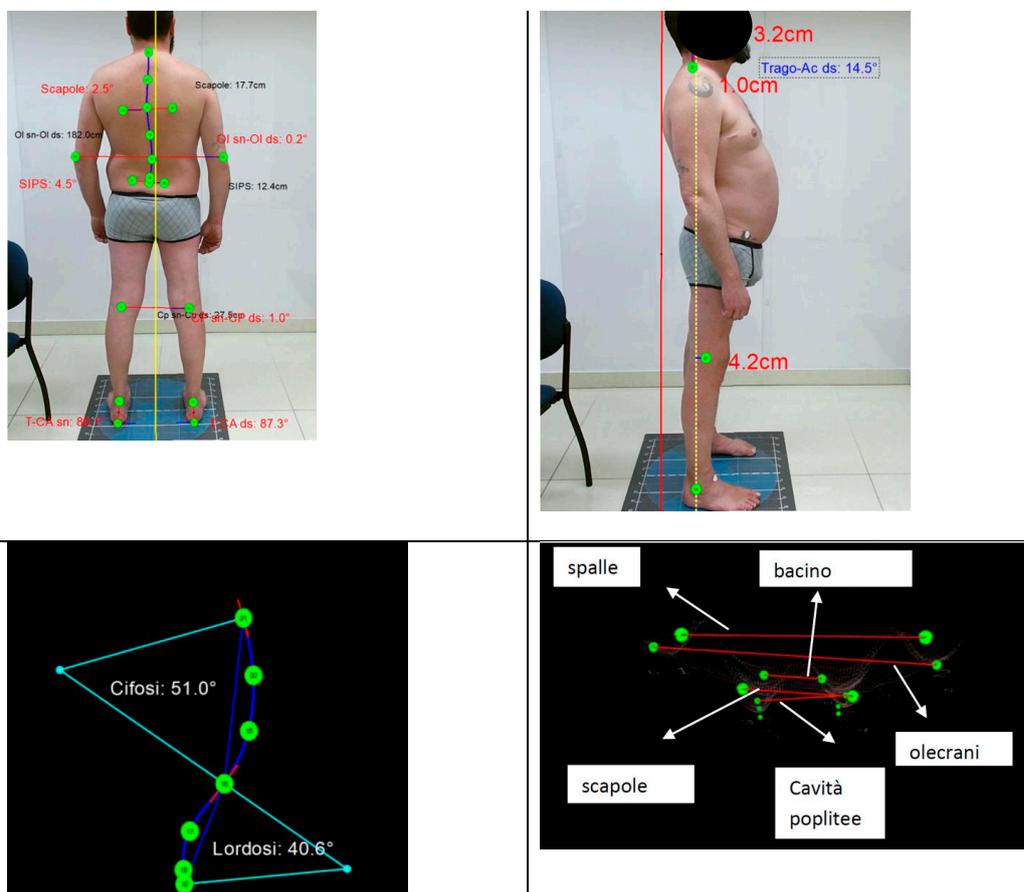
- Uscito dalla terapia intensiva dopo 5 mesi manifesta lombalgia a fascia, dolore e parestesie a tutta la gamba destra, dolore continuo nella zona del quadricipite e allodinia a coscia, tibia e caviglia destra, cervicalgia

La perizia biomeccanica posturale ha previsto i seguenti esami:

- Analisi della postura in 3D<sup>(I)</sup>
- Stabilometria<sup>(V)</sup>
- Flexion-relaxation test<sup>(III) (IV)</sup>
- Analisi cinematica del cammino<sup>(III)</sup>
- Analisi del cammino con elettromiografia di superficie<sup>(III) (IV)</sup>

**FIGURA 42**

Analisi della postura in 3D con misura dei vari angoli di segmenti corporei, ricostruzione del rachide dorsale e lombare e misura delle rotazioni dei vari segmenti



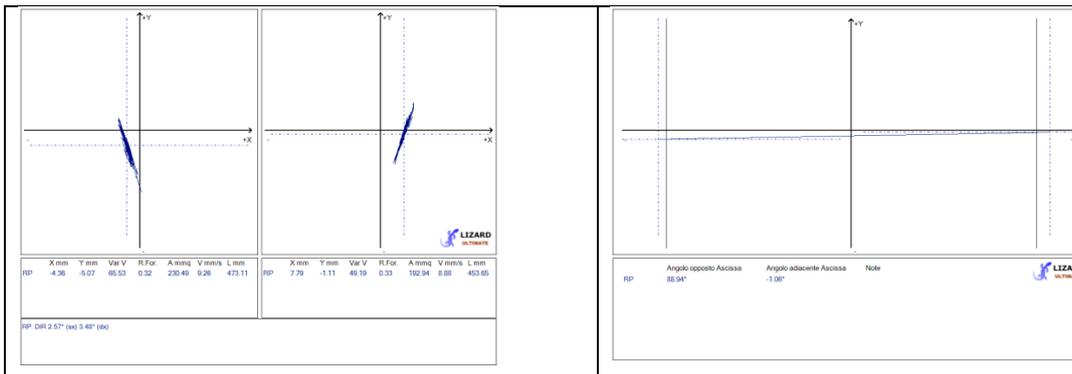
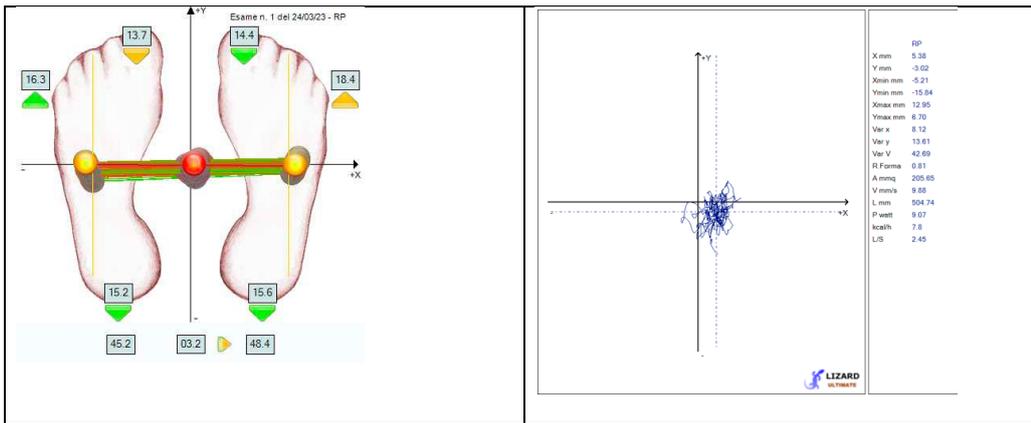


FIGURA 43

Analisi stabilometrica. In alto a sinistra la differenza di carico medio tra i due arti e nelle diverse zone dei piedi (I e V metatarso e tallone). In alto a destra il centro di pressione generale descritto nell'arco della prova; in basso a sinistra il centro di pressione nell'arco della durata della prova sull'arto sinistro e destro separatamente; in basso a destra l'angolazione teorica dell'appoggio

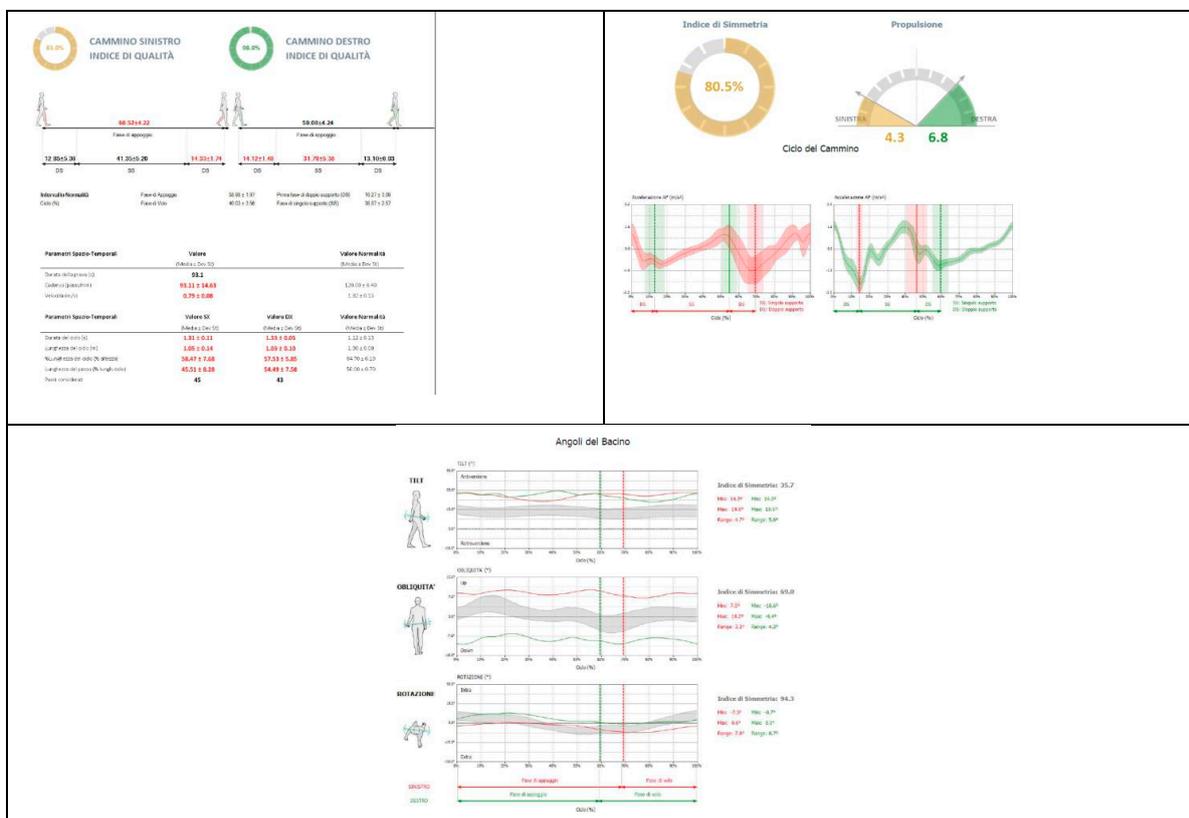
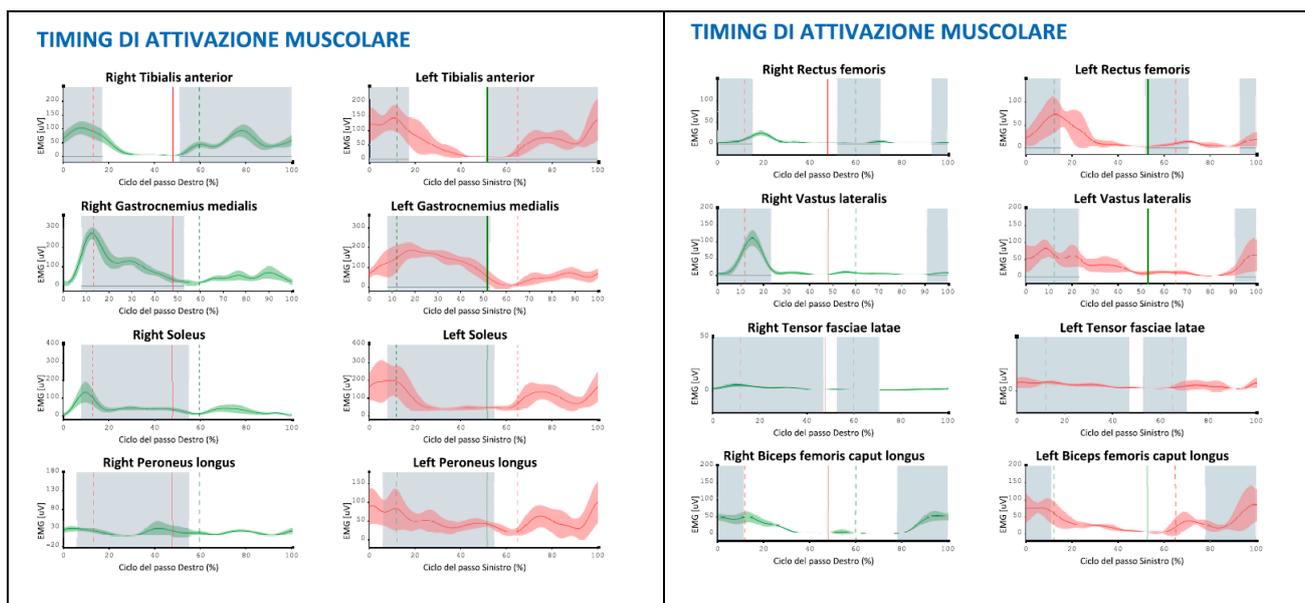


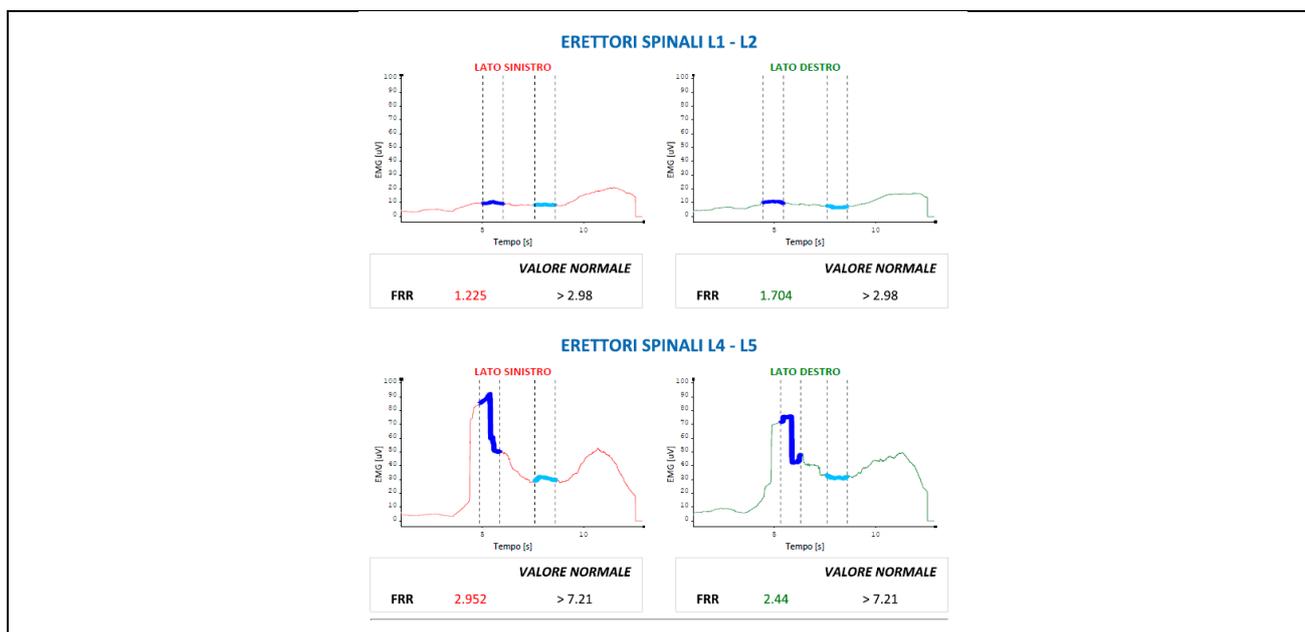
FIGURA 44

Analisi cinematica del cammino evidenziando i parametri spatio-temporali più importanti e confronto tra le rotazioni del bacino durante ciclo di cammino sinistro (in rosso) e destro (in verde)



**FIGURA 45**

Analisi elettromiografica di superficie descritta come in Figura 10



**FIGURA 46**

Flexion-relaxation phenomenon come rappresentato in Figura 6

## ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Il soggetto presenta uno shift della parte medio-alta del dorso verso sinistra e un equilibrio più deficitario a destra evidenziato dall'analisi stabilometrica.

Soprattutto durante il cammino si notano le alterazioni funzionali.

Difatti la fase di appoggio è estremamente superiore a sinistra ed è evidente una notevole asimmetria su tutti e tre gli assi di rotazione del bacino.

Dalle analisi cinematiche è evidente come il bacino rimanga notevolmente più basso durante il ciclo di cammino destro e come intraruoti maggiormente sempre in questo ciclo di cammino rispetto al ciclo controlaterale. Questo significa che la gamba destra viene portata verso l'interno e non alzata. Per questo la cadenza e la velocità del cammino sono sotto i limiti della norma.

Questo dato è coerente anche con l'analisi stabilometrica che evidenzia una tendenza ad oscillare in senso antiorario. Questa intrarotazione è compensata dalla parte alta del busto che ruota, come mostrato dai dati, in senso contrario.

Tutto ciò potrebbe provocare una torsione vertebrale che plausibilmente potrebbe provocare mal di schiena lombare come riferito dal cliente. Inoltre è evidente come sia presente una ipoattivazione di gran parte dei muscoli dell'arto inferiore di destra rispetto al controlaterale, confermando l'analisi cinematica e provando la difficoltà ad alzare la gamba destra durante il cammino.

Per finire, è evidente un deficit di movimento nell'abduzione del braccio destro dove il ROM articolare è molto ridotto. Anche in questo caso gran parte dei muscoli di destra investigati sono ipoattivi rispetto ai controlaterali fuorché i trapezi, che sono iperattivi per compensare la mancanza di elevazione omerale <sup>(6)</sup>.

Lo squilibrio sia degli arti inferiori che superiori portano sicuramente ad un forte squilibrio posturale che provoca low back pain come è appurato dal test di flexion relaxation <sup>(4)</sup>, che mostra come i muscoli erettori spinali siano sempre attivi anche quando dovrebbero rilassarsi.

Tutti questi squilibri sono coerenti con la sintomatologia presente e con l'infortunio subito dal soggetto.

## CONCLUSIONI

Un laboratorio di analisi del movimento e di biomeccanica posturale, gestito da un ingegnere biomedico esperto, risulta essere di enorme utilità in campo medico-legale per comprendere e documentare in modo più dettagliato e oggettivo il **danno funzionale e i dolori/fastidi che affliggono l'assistito**. Infatti, è possibile correlare i vari fastidi, dolori persistenti e alterazioni posturali secondari ai danni subiti dal cliente.

Ai fini legali civilistici, quindi, queste valutazioni, ritagliate appositamente sul danno subito, aiutano a stabilire il congruo riconoscimento delle menomazioni, e quindi il giusto risarcimento economico. Infine, suggeriscono, da un punto di vista clinico, la miglior strategia terapeutica per riabilitarsi e rieducarsi correttamente, consentendo un follow up quantificabile.

Nel III capitolo è stato presentato un riassunto parziale delle analisi che è possibile effettuare con un'interpretazione dei risultati dei vari casi, al fine di aiutare il lettore nel comprendere la complessità ma anche l'oggettività di tali test.

## STRUMENTI UTILIZZATI

- (I) Strumento utilizzato: ADIBAS Posture
- (II) Strumento utilizzato: P-WALK (BTS-Bioengineering)
- (III) Strumento utilizzato: G-Sensor (BTS-Bioengineering)
- (IV) Strumento utilizzato: FREEEMG 1000 (BTS-Bioengineering)
- (V) Strumento utilizzato: pedana stabilometrica Lizard

## BIBLIOGRAFIA

1. Winter, D.A. *The Biomechanics and motor control in human gait*. Ontario : University of Waterloo Press, 1991.
2. Five basic muscle activation patterns account for muscle activity during human locomotion. Y.P. Ivanenko, R.E. Poppele, F. Lacquaniti. 267-282, s.l. : J. Physiol, 2004, J Physiol, p. 267-282.
3. Estimation of mass moment of inertia of human body, when bending forward, for the design of a self-transfer robotic facility . R.H. Krishnan, V. Devanandh, A.K. Brahma, S. Pugazhenthii. 2016.
4. Surface electromyography in the identification of chronic low back pain patients: the development of the flexion relaxation ratio. P.J. Watson, C.K. Booker, C J Main, A.C. N. Chen. 3, 1997, *Clinical Biomechanics* , Vol. 12, p. 165-171.
5. *The Cervical Flexion-Relaxation Ratio (Reproducibility and Comparison Between Chronic Neck Pain Patients and Controls)* “. T.A. Murphy, P.W. Marshall, H.H. Taylor. 2010, *Spine*, p. 2103-2108.
6. Quantifying normal shoulder muscle activity during abduction. J. Wickham, T. Pizzari, K. Stansfeld, A. Burnside, L. Watson. 2010, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, p. 212-22.
7. The use of surface electromyography as a tool in differentiating temporomandibular disorders from neck disorders. V.F. Ferrario, G. M. Tartaglia, F. E. Luraghi, C. Sforza. s.l. : Elsevier, 2007, *Manual Therapy*, p. 372-379.
8. Vestibular and stabilometric findings in whiplash injury and minor head trauma”. A. Nacci, M. Ferrazzi, S. Berrettini, E. Panicucci, J. Matteucci, L. Bruschini, F. Ursino, B. Fattori. [a cura di] Department of Neurosciences, Department of Experimental pathology, University of Pisa Audiology and Phoniatrics Unit. s.l. : *Acta Otorhinolaryngol Ital*, 2011, p. 378-389.
9. The prevalence of temporomandibular disorder in patients with late whiplash syndrome who experience orofacial pain: A case-control series study. I. Marini, S. Paduano, M. L. Bartolucci, F. Bortolotti. G. Alessandri Bonetti. s.l. : JADA (*Journal of the American Dental Association*), 2013, p. 486-490.
10. Temporomandibular pain dysfunction disorder resulting from road traffic accidents-an Australian study. T. C. S. Probert, D. Wiesenfeld, P. C. Reade. 23, s.l. : *Oral & maxillofacial Surgery*, 1994, p. 338-341.
11. Temporomandibular Disorder Pain After Whiplash Trauma: A Systematic Review. B. Häggman-Henrikson, T. List, H.T. Westergren, S.H. Axelsson. 3, s.l. : *Journal of Orofacial Pain*, 2013, Vol. 27.
12. Prevalence of whiplash trauma in TMD patients: a systematic review. B. Haggman-Henrikson, M. Rezvani & T. List. 41, s.l. : *Journal of Oral Rehabilitation*, 2014, p. 59-68.
13. Novel electromyographic protocols using axial rotation and cervical flexion-relaxation for the assessment of subjects with neck pain: a feasibility study. J.W. DeVocht, K. Gudavalli, M.R. Gudavalli, T. Xia. s.l. : *Journal of Chiropractic Medicine*, 2016, Vol. 15, p. 102-111.
14. Diagnostic criteria for persistent postural perceptual dizziness (PPPD): Consensus document of the committee for the classification of vestibular disorder of the Barany Society. J. P. Staab, A. Bronstein, (2017) 19. 2017, *Journal of Vestibular Research*, Vol. 27, p. 191-208.
15. Persistent postural-perceptual dizziness (PPPD): a common characteristic and treatable cause of chronic dizziness. S. Popkirov, P Staab, J. Stone. 2018, *Pract Neurol*, Vol. 18, p. 5-13.
16. Novel Electromyographic Protocols Using Axial Rotation and Cervical Flexion-Relaxation. J.W.DeVocht, K. Gudavalli, Maruti R., T. Xia. 2016, *Journal of Chiropractic Medicine*, p. 102-111.