



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia

**LE FRATTURE-LUSSAZIONI PERILUNATE DEL
CARPO: TECNICHE CHIRURGICHE E OUTCOME
FUNZIONALI**

**PERILUNATE FRACTURE-DISLOCATIONS: SURGICAL
TECHNIQUES AND FUNCTIONAL OUTCOMES**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Antonio P. Gigante

Tesi di Laurea di:

Greta Fuligni

Correlatore: Chiar.mo

Prof. Michele Riccio

Anno Accademico 2025/2026



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia

**LE FRATTURE-LUSSAZIONI PERILUNATE DEL
CARPO: TECNICHE CHIRURGICHE E OUTCOME
FUNZIONALI**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Antonio P. Gigante

Tesi di Laurea di:

Greta Fuligni

Correlatore: Chiar.mo

Prof. Michele Riccio

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. ANATOMIA E BIOMECCANICA DEL CARPO	6
2.1 Anatomia del Carpo	6
2.1.1 Anatomia ossea del carpo	6
2.1.2 Articolazioni del carpo	9
2.1.3 Sistema legamentoso del carpo	12
2.2 Biomeccanica del Carpo	16
2.2.1 Teorie del movimento carpale	16
2.2.2 Cinematica carpale normale	17
2.2.3 Trasmissione del carico e centro di rotazione	19
2.2.4 Stabilità del sistema carpico	19
3. LE FRATTURE-LUSSAZIONI PERILUNATE DEL CARPO	21
3.1 Definizione e Meccanismo Traumatico	21
3.1.1 Inquadramento e classificazione degli archi lesionali	21
3.1.2 Il "paradosso meccanico" del semilunare e lo Spazio di Poirier	22
3.1.3 Cinematica del trauma e applicazione dei carichi vettoriali	23
3.2 Epidemiologia e Rilevanza Clinica	25
3.3 Classificazione	28
3.3.1 La progressione di Mayfield	28
3.3.2 La classificazione di Green e O'Brien	30
3.3.3 La classificazione radiografica di Herzberg et al	31
3.3.4 Classificazione artroscopica EWAS (European Wrist Arthroscopy Society)	33
3.3.5 Classificazione di Andersson-Garcia-Elias	34
3.3.6 La classificazione delle lesioni luno-piramidali secondo Viegas	34
3.4 Diagnosi e Imaging	35
3.4.1 Inquadramento clinico e esame obiettivo	35
3.4.2 Valutazione radiografica convenzionale	36
3.4.3 Imaging di secondo livello: TC e RM	39
3.5 Orientamenti Terapeutici e Tecniche e Chirurgiche	41
3.5.1 Trattamento incruento d'urgenza: la manovra di riduzione manuale	42
3.5.2 Trattamento chirurgico a cielo aperto (ORIF)	43
3.5.3 Trattamento assistito per via artroscopica	45
3.5.4 Vie di accesso chirurgico	46
3.6 Outcomes e Complicanze	49
3.6.1 Complicanze Acute: la Neuropatia del Nervo Mediano	49
3.6.2 Complicanze Croniche: La Degenerazione Artrosica Post-Traumatica	50

3.6.3 Complicanze Post-Chirurgiche e Fallimenti della Sintesi.....	50
3.6.4 Complicanze Specifiche della Procedura Artroscopica.....	51
3.6.5 Necrosi Avascolare del Semilunare	51
4. SCOPO DELLO STUDIO.....	52
5. MATERIALI E METODI.....	53
5.1 Criteri di Selezione della Coorte.....	53
5.2 Raccolta Dati.....	54
5.2.1 Variabili Demografiche e Anamnestiche	54
5.2.2 Dati radiografici.....	54
5.2.3 Dati Chirurgici.....	55
5.2.4 Valutazione Clinica e Funzionale Post-operatoria	55
5.3 Analisi Statistica	60
6. RISULTATI.....	61
6.1 Analisi Demografica della Coorte.....	61
6.2 Dinamica del Trauma e Timing Chirurgico	62
6.3 Pattern Lesionali	63
6.4 Dati Chirurgici.....	65
6.5 Outcomes Clinici e Funzionali.....	66
6.5.1 Analisi Longitudinale del Range of Motion (ROM).....	66
6.5.2 Analisi della Forza di Presa (Jamar Test)	68
6.5.3 Valutazione Appaiata degli Score Funzionali (Mayo e PRWE)	69
6.5.4 Timing Lesione-Intervento e Outcome Funzionali Finali.....	69
6.5.5 Reinterventi	70
6.6 Analisi Comparativa e Stratificazione in base al Pattern Lesionale	70
6.6.1 Analisi Comparativa del Recupero del ROM	71
6.6.2 Valutazione della Forza di Presa Residua.....	72
6.6.3 Confronto degli Outcomes Funzionali (Mayo e PRWE)	73
7. DISCUSSIONE	74
7.1 Analisi del ripristino clinico-funzionale e della forza di presa: il fenomeno del recupero tardivo	74
7.2 Il fattore tempo e la gestione in urgenza: la correlazione clinico-prognostica.....	76
7.3 Impatto del pattern lesionale sugli esiti: traumi dell'Arco Maggiore vs Arco Minore.....	78
7.4 Punti di forza e limiti dello studio.....	79
8. CONCLUSIONI	81
9. BIBLIOGRAFIA	83

1. INTRODUZIONE

La mano rappresenta uno dei distretti anatomici più complessi ed evoluti dell'intero apparato locomotore umano, configurandosi non solo come strumento essenziale per l'esecuzione di movimenti di presa e di precisione, ma anche come organo di senso e di interazione sociale. Tutto ciò risulta però essere subordinato all'integrità del polso, un complesso sistema poliarticolare attraverso cui si realizza la transizione meccanica tra l'avambraccio e l'estremità distale dell'arto superiore. All'interno di questo distretto, il carpo funge da vero e proprio raccordo e nucleo cinematico, deputato a garantire sia un ampio arco di movimento nello spazio, che una corretta e bilanciata trasmissione dei carichi e delle forze durante le attività quotidiane e lavorative.

Nonostante l'efficienza di questo sistema, l'architettura del carpo è particolarmente vulnerabile di fronte a traumi ad alta energia. All'interno delle instabilità complesse del carpo, le lussazioni e le fratture-lussazioni perilunate costituiscono un gruppo di lesioni rare e invalidanti, caratterizzate dalla perdita completa dei normali rapporti anatomici tra la testa del capitato, l'articolazione radiocarpica e l'osso semilunare.

Dal punto di vista anatomo-patologico, il semilunare rimane in genere ancorato al radio grazie ai robusti legamenti estrinseci volari, comportandosi come un perno stabile attorno al quale il resto del carpo si sposta. In base al percorso della forza traumatica, si distingue tra le lesioni dell'Arco Minore (a estensione puramente capsulo-legamentosa) e le varianti dell'Arco Maggiore, in cui il trauma colpisce anche il tessuto osseo provocando fratture degli elementi circostanti, coinvolgendo in primo luogo lo scafoide.

Sotto il profilo epidemiologico, queste lesioni colpiscono prevalentemente la popolazione maschile in età giovane-adulta e nel pieno dell'età lavorativa, a causa di dinamiche violente come incidenti stradali, motociclistici o cadute dall'alto. Questo comporta un notevole impatto socio-economico, poiché il deficit funzionale residuo compromette la capacità lavorativa e la qualità della vita dei pazienti.

Nella gestione d'urgenza delle lesioni perilunate, una problematica di eccezionale rilevanza è rappresentata dall'alto tasso di ritardo diagnostico. La complessità dell'inquadramento radiografico iniziale in Pronto Soccorso fa sì che fino al 25% dei casi

— specialmente nelle varianti pure dell'Arco Minore — non venga riconosciuto subito e sia scambiato per una semplice distorsione. Questo ritardo espone le strutture carpali, ma anche il nervo mediano, a un insulto meccanico prolungato, influenzando significativamente la prognosi finale.

Il trattamento di queste lesioni è esclusivamente chirurgico e mira a ripristinare l'allineamento anatomico e la stabilità del carpo. Accanto all'approccio a cielo aperto (ORIF), che consente una visione diretta ma comporta un certo grado di rigidità cicatriziale, si sono diffuse metodiche mini-invasive assistite per via artroscopica, volte a ridurre l'insulto capsulare. Tuttavia, il percorso di guarigione è comunque lungo e tortuoso, ed espone i pazienti al rischio di rigidità articolare, deficit della forza di presa e degenerazione artrosica post-traumatica a lungo termine.

A causa della rarità di queste lesioni, gli studi in letteratura focalizzati sul monitoraggio longitudinale del recupero clinico sono limitati. In questo scenario si inserisce il presente studio retrospettivo, finalizzato ad analizzare l'esperienza clinica di una coorte di 18 pazienti trattati dal 2022 al 2025 presso la S.O.D. di Chirurgia Ricostruttiva e Chirurgia della Mano dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Ospedali Riuniti di Ancona. Attraverso una valutazione sia oggettiva che soggettiva degli outcomes ad un anno, l'indagine si propone di analizzare l'evoluzione del recupero tardivo, valutare l'impatto prognostico del timing chirurgico ed esplorare se i differenti pattern lesionali condizionino il risultato finale, nell'ottica di ottimizzare l'iter terapeutico e riabilitativo e di confrontare tali dati con la letteratura internazionale.

2. ANATOMIA E BIOMECCANICA DEL CARPO

La comprensione dell'anatomia e della biomeccanica del carpo è fondamentale per interpretare correttamente la fisiopatologia delle fratture-lussazioni perilunate e dunque comprendere le implicazioni terapeutiche e prognostiche di queste lesioni. Infatti, le fratture-lussazioni perilunate sono lesioni complesse e ad alta energia che derivano da una sequenza specifica di cedimenti ossei e legamentosi: la loro corretta interpretazione parte certamente da una adeguata considerazione dell'anatomia del distretto in questione.

Il carpo rientra nel contesto più ampio del polso, una diartrosi costituita dalla porzione distale del radio e dell'ulna, da 8 ossa carpali, le quali si articolano con superficie articolare prossimale dei 5 metacarpali.

Da un punto di vista meccanico il polso rappresenta l'articolazione più complessa del corpo umano, garantendo un ampio range di movimento nei piani di flessione-estensione e deviazione radio-ulnare, e permettendo al contempo la trasmissione di forze significative dalla mano all'avambraccio.

2.1 Anatomia del Carpo

2.1.1 Anatomia ossea del carpo

Il carpo non deve essere inteso come un mero insieme di ossa brevi, bensì come una complessa e sofisticata struttura anatomica, interposta fra le epifisi distali di radio e ulna e le basi delle cinque ossa metacarpali. Tale unità funzionale è costituita da otto ossa disposte in due file ad andamento trasversale, una prossimale e una distale, che interagiscono sinergicamente per garantire stabilità e al contempo mobilità del complesso articolare della mano, di cui il carpo chiaramente fa parte costituendone la porzione prossimale [1].

Come evidenziato dalla Fig. 1, fila prossimale comprende, in direzione radio-ulnare:

- Scafoide: osso di forma allungata e obliqua, articolato prossimalmente con il radio e distalmente con trapezio, trapezoide e capitato. Rappresenta un elemento di collegamento meccanico cruciale tra le due file carpali.

- Semilunare (o lunato): osso centrale della fila prossimale, di forma appunto semilunare, articolato prossimalmente con il radio e distalmente con il capitato e l'uncinato. Rappresenta il fulcro biomeccanico del carpo, nonché l'elemento attorno al quale si sviluppano le lesioni perilunate.
- Piramidale (o triquetro): osso di forma piramidale, articolato con il disco triangolare del complesso della fibro-cartilagine triangolare (TFCC) e distalmente con l'uncinato.
- Pisiforme: piccolo osso sesamoide, incluso nel tendine del flessore ulnare del carpo e situato sulla superficie volare del piramidale, unico elemento con cui si articola, non partecipando infatti direttamente all'articolazione radio-carpica.

La fila distale comprende, in direzione radio-ulnare:

- Trapezio: articolato con lo scafoide prossimalmente e con il primo metacarpo distalmente.
- Trapezoidale: il più piccolo osso della fila distale, articolato con lo scafoide e il secondo metacarpo.
- Capitato: il più grande osso del carpo, situato centralmente, articolato con il semilunare prossimalmente e con il terzo metacarpo distalmente. La sua testa si articola con la concavità formata dallo scafoide e dal semilunare.
- Uncinato (o amato): caratterizzato da un processo unciforme volare (hamulus), che costituisce il limite mediale del tunnel carpale, e articolato con il piramidale prossimalmente e con il quarto e quinto metacarpo distalmente.

È da sottolineare il fatto che le due file carpali presentano caratteristiche biomeccaniche differenti. La fila distale si comporta come un'unità relativamente rigida, con movimenti intercarpali minimi, funzionando come un blocco solidale. La fila prossimale, invece, è più mobile e deformabile, comportandosi come un "*segmento intercalato*" interposto tra il radio e la fila distale, adattandosi così ai movimenti della porzione distale ossea dell'avambraccio. Tali aspetti saranno approfonditi successivamente, nella trattazione della biomeccanica del polso.

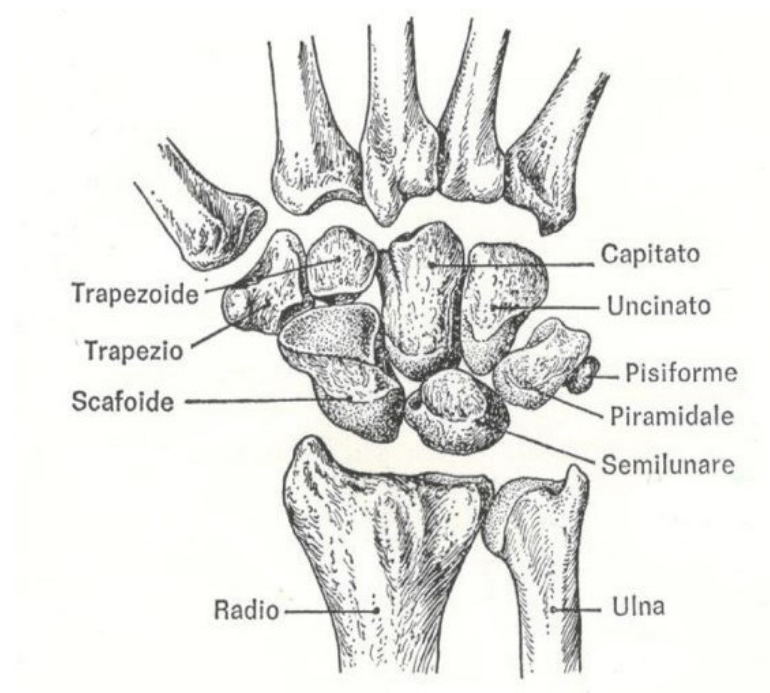


Fig. 1 Anatomia ossea del carpo

Da citare anche l'esistenza di un modello alternativo e complementare a quello di suddivisione in filiere, proposto originariamente da Navarro e successivamente sviluppato da Taleisnik, che piuttosto suddivide il carpo in tre colonne longitudinali [2]:

- Colonna laterale (radiale): costituita dal solo scafoide, che funge da collegamento mobile tra la fila prossimale e la fila distale. Lo scafoide, per la sua posizione obliqua, rappresenta un elemento di transizione biomeccanica tra le due file e tende naturalmente alla flessione sotto carico assiale.
- Colonna centrale: costituita dal semilunare prossimalmente e dalla fila distale (capitato, trapezoide, trapezio, uncinato) distalmente. Questa colonna rappresenta l'asse principale di trasmissione del carico dalla mano all'avambraccio e funziona come un'unità relativamente stabile.
- Colonna mediale (ulnare): costituita dal piramidale (e dal pisiforme), che funge da stabilizzatore rotazionale e controlla la traslazione ulnare del carpo. Il piramidale tende naturalmente all'estensione, bilanciando la tendenza flessoria dello scafoide.

Questo modello a tre colonne è particolarmente utile per comprendere le lesioni perilunate: la lesione si propaga tipicamente attraverso la colonna laterale (frattura dello scafoide o rottura del legamento scafo-lunato), prosegue attraverso la colonna centrale (lussazione del capitato) e può coinvolgere la colonna mediale (rottura del legamento luno-piramidale o frattura del piramidale).

Nel suo insieme, il carpo presenta una forma quadrangolare a concavità volare. Il suo margine prossimale, marcatamente convesso, costituisce il condilo carpale mediante il quale si articola con l'estremità distale del radio e con il disco articolare della radio-ulnare distale; il margine distale si presenta invece frastagliato per articolarsi con le basi delle cinque ossa metacarpali. I margini laterale e mediale sono liberi e caratterizzati da evidenti eminenze ossee: lateralmente spiccano i tubercoli dello scafoide e del trapezio, mentre medialmente il profilo è sollevato dal pisiforme e dall'uncino dell'uncinato. Questa specifica conformazione ossea delimita il cosiddetto solco carpale, il quale viene trasformato nel tunnel (o canale) carpale dall'inserzione, tesa tra questi rilievi, del retinacolo dei muscoli flessori (legamento trasverso del carpo). Il canale carpale accoglie e offre passaggio a precise strutture tendinee, con relative guaine, e vascolo-nervose; tra di esse assume una rilevanza clinica cruciale il nervo mediano il quale, come verrà ampiamente trattato nei capitoli successivi, può esser esposto a fenomeni di compressione e sofferenza ischemica acuta nel contesto delle lesioni perilunate.

2.1.2 Articolazioni del carpo

Il carpo è coinvolto in tre principali complessi articolari: l'articolazione radio-carpica prossimalmente, l'articolazione medio-carpica centralmente e le articolazioni carpo-metacarpiche distalmente. Per la comprensione delle lesioni perilunate, le prime due rivestono un'importanza fondamentale.

Articolazione radio-carpica

L'articolazione radio-carpica è un'articolazione condiloidea che si forma tra la fila prossimale delle ossa del carpo e le facce articolari inferiori del radio e del disco

articolare del complesso della fibro-cartilagine triangolare (TFCC); l'ulna non partecipa direttamente all'articolazione. [1]

Morfologia articolare:

La superficie articolare distale è formata dalle superfici convesse prossimali di scafoide, semilunare e piramidale, che insieme costituiscono un condilo carpale continuo, reso tale dalla presenza dei legamenti interossei (scafo-lunato e luno-piramidale) che colmano gli spazi interossei (Fig. 2a).

La superficie articolare prossimale è conformata come una cavità glenoidea, ovvero è una superficie concava e ovalare, con asse maggiore trasversale e un raggio di curvatura trasversale maggiore del raggio di curvatura assiale. Inoltre tale superficie presenta un'inclinazione di circa 10-15° in senso ulnare (sul piano frontale) e 10-15° in senso volare (sul piano sagittale). La faccetta radiale presenta due fossette concave: una laterale (fossa scafoidea) e una mediale (fossa lunata), separate da una cresta sagittale. Il disco articolare del TFCC si estende dal margine ulnare del radio alla base della stiloide ulnare, separa l'ulna dalla fila prossimale del carpo, permettendo la trasmissione del carico attraverso il versante ulnare. Precisamente si articola con il piramidale attraverso la sua faccia inferiore (faccetta articolare per il piramidale).

Movimenti consentiti:

L'articolazione radio-carpica permette movimenti di flesso-estensione (attorno ad un asse trasversale) e di deviazione radio-ulnare (attorno ad un asse antero-posteriore). La combinazione di questi movimenti consente la circumduzione della mano. L'articolazione radio-carpica contribuisce per circa il 60% della flessione totale del polso e per circa il 40% dell'estensione [3].

Articolazione medio-carpica

L'articolazione medio-carpica si forma tra le ossa della fila prossimale e quelle della fila distale del carpo, con l'esclusione del pisiforme: è l'articolazione direttamente coinvolta nelle lussazioni perilunate.

La superficie articolare ha una conformazione a "S" italica sul piano frontale (Fig. 2b):

- Porzione mediale: è un'articolazione condiloidea, che unisce la cavità glenoidea formata da scafoide, semilunare e piramidale, con il condilo formato da capitato e uncinato.
- Porzione laterale: è un'artrodia che unisce lo scafoide al trapezio e al trapezoide.

Questa conformazione a "S" conferisce all'articolazione medio-carpica una notevole stabilità intrinseca, ma crea anche un punto di transizione biomeccanica tra i due compartimenti.

Movimenti consentiti:

L'articolazione medio-carpica contribuisce significativamente ai movimenti del polso, in modo complementare all'articolazione radio-carpica. Essa contribuisce per circa il 40% della flessione totale del polso e per circa il 60% dell'estensione. Durante la deviazione radiale e ulnare, l'articolazione medio-carpica mostra movimenti accoppiati di flessione-estensione delle ossa carpali.

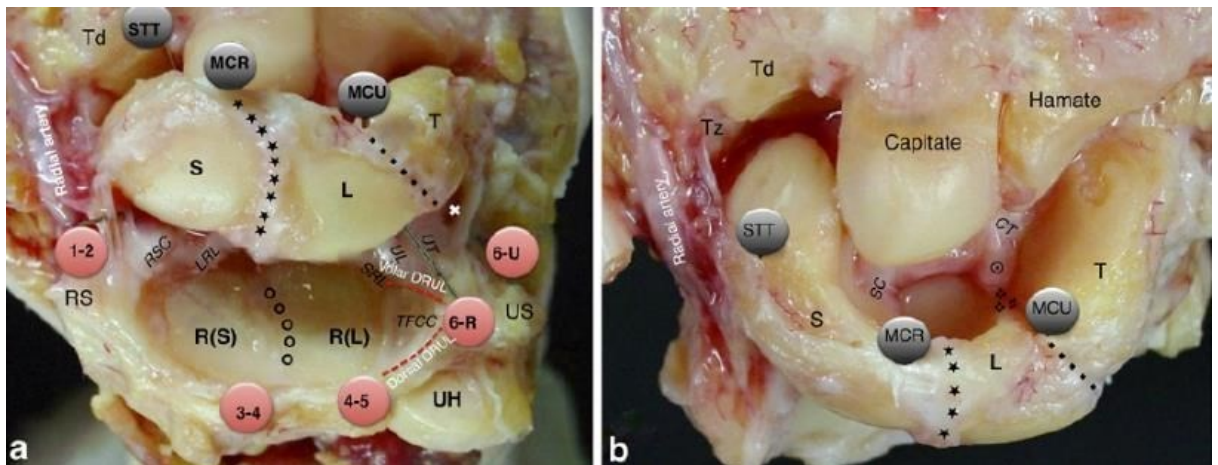


Fig. 2 Dissezione anatomica della radiocarpica (a) e della mediocarpica (b).

Da sottolineare infine, per completezza, il fatto che nell'ambito delle articolazioni intercarpiche, di cui quella medio-carpica fa parte, abbiamo anche le articolazioni tra le ossa della fila prossimale e le articolazioni tra le ossa della fila distale. Esse sono tutte artrodie che uniscono le facce contigue di ossa carpali adiacenti nell'ambito di una determinata fila, prossimale o distale. Inoltre tra tali contesti ossei vi sono anche connessioni che si estrinsecano attraverso i legamenti intercarpici palmari, dorsali e interossei.

Articolazione carpo-metacarpica

Le articolazioni carpo-metacarpiche connettono la fila distale del carpo con le basi dei cinque metacarpi. Si distinguono:

- Articolazione carpo-metacarpica del pollice: articolazione a sella tra trapezio e primo metacarpo, dotata di ampia mobilità
- Articolazioni carpo-metacarpiche delle dita lunghe: articolazioni artrodiali con mobilità limitata, che aumenta progressivamente dal secondo al quinto raggio

Queste articolazioni non sono direttamente coinvolte nelle lesioni perilunate, che si sviluppano a livello più prossimale. Tuttavia, la loro integrità è importante per la trasmissione delle forze dalla mano al carpo e può essere valutata nel contesto di traumi ad alta energia che causano lesioni perilunate.

2.1.3 Sistema legamentoso del carpo

Come sottolineato da diversi autori, il fatto che le lussazioni del carpo si localizzino in genere in sede perilunare dipende proprio dall'anatomia legamentosa del polso. La stabilità del carpo è infatti garantita da un complesso sistema legamentoso intracapsulare, che può essere classificato in legamenti estrinseci e legamenti intrinseci [3].

Legamenti estrinseci

I legamenti estrinseci connettono le ossa carpali con le ossa dell'avambraccio (radio e ulna) o metacarpi, ovvero sono strutture legamentose che si estendono oltre il contesto carpale. Si distinguono ulteriormente in legamenti palmari (volari) e dorsali.

Legamenti palmari (volari): sono più robusti e numerosi rispetto ai legamenti dorsali, riflettendo la maggiore importanza nella stabilizzazione volare del carpo. I principali legamenti palmari includono (Fig. 3):

- Legamento radio-scafo-capitato (RSC): origina dallo stiloide radiale e si inserisce sul capitato, e nel far ciò circonda la vita dello scafoide. Ha un ruolo fondamentale nel mantenimento della normale posizione dello scafoide stesso, ma è in generale un importante stabilizzatore volare e la sua rottura è un elemento chiave nella progressione delle lesioni perilunate (Stadio II di Mayfield).
- Legamento radio-lunato lungo (LRL): è il più lungo fra i legamenti palmari, connette il radio al semilunare, contribuendo alla stabilità del semilunare.
- Legamento radio-scafo-lunato (legamento di Testut): non è propriamente una strutturale legamentosa, è piuttosto descrivibile come una piega sinoviale con un'associata struttura neurovascolare, rappresenta un punto di debolezza capsulare piuttosto che un vero stabilizzatore.
- Legamento radio-lunato breve (SRL): risulta essere un inspessimento capsulare che stabilizza il semilunare, connette direttamente il radio al semilunare.
- Legamenti ulno-carpali: includono il legamento ulno-lunato, ulno-piramidale e ulno-capitato, che originano dal complesso della fibro-cartilagine triangolare e si inseriscono sulle ossa carpali ulnari.

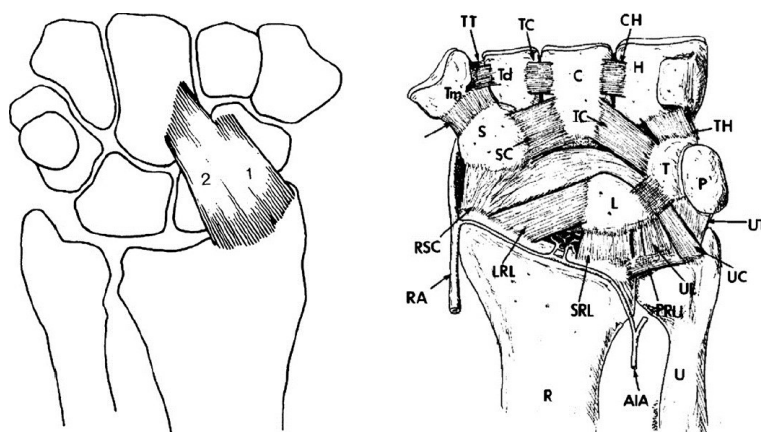


Fig. 3 Anatomia specifica del legamento RSC diviso nelle sue componenti e anatomia dei legamenti estrinseci ed intrinseci volari del polso.

Legamenti dorsali: rispetto ai volari sono meno robusti e anche meno rilevanti da un punto di vista meccanico. Comunque hanno un ruolo nella stabilizzazione della fila prossimale del carpo, soprattutto dell'osso semilunare, assieme ai legamenti intrinseci interossei, tanto che relative lesioni legamentose possono esitare in instabilità carpalì. Includono (Fig. 4):

- Legamento radio-carpico dorsale (DRC): origina dal margine dorsale del radio e si inserisce sul piramidale, passando sul semilunare. Controlla lo spostamento ulnare del piramidale e stabilizza il semilunare nella sua posizione. La sua rottura caratterizza lo Stadio IV di Mayfield.
- Legamento intercarpico dorsale (DIC): connette il piramidale allo scafoide passando sul semilunare e sul capitato.
- Legamento ulno-piramidale dorsale (DST)

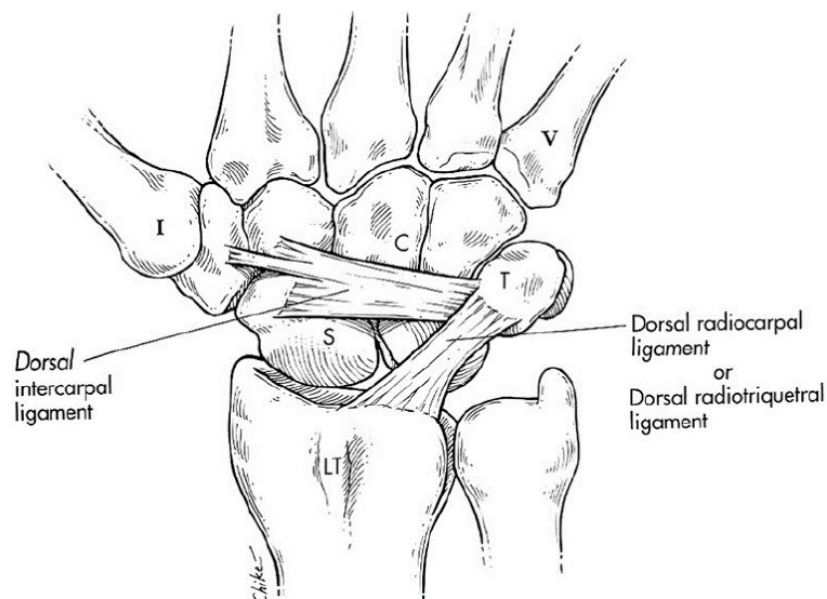


Fig. 4 Anatomia del legamento intercarpico dorsale (DIC) e del legamento radio-carpico dorsale (DRC)

Legamenti intrinseci

I legamenti intrinseci originano e si inseriscono sulle ossa carpali, connettendole tra loro, e sono interamente contenuti all'interno del carpo. Si possono ulteriormente distinguere in legamenti che uniscono ossa della stessa filiera, ovvero gli interossei, e legamenti che stabilizzano l'articolazione medio-carpica.

I due interossei più importanti, soprattutto nell'ambito della trattazione delle lesioni perilunate, sono:

- Legamento scafo-lunato interosseo (SLIL): rappresenta lo stabilizzatore primario dell'articolazione scafo-lunata e uno dei legamenti più rilevanti dell'intero complesso del carpo (Scalcione et al., 2014). Come il nome stesso suggerisce, connette lo scafoide al lunato, ed è costituito da tre porzioni: dorsale, centrale (prossimale) e volare. La porzione dorsale è la più robusta e importante biomeccanicamente per la stabilità carpale: la sua rottura è l'evento iniziale nella sequenza delle lesioni perilunate (Stadio I di Mayfield). La porzione centrale è invece di forma triangolare e di natura fibrocartilaginea, mentre quella volare presenta una forma trapezoidale.
- Legamento luno-piramidale interosseo (LTIL): connette il semilunare al piramidale, garantendo l'allineamento di tali contesti ossei. Anch'esso è suddivisibile in tre porzioni (dorsale, centrale o prossimale e volare), ma a differenza del legamento scafo-lunato, è la sua porzione volare ad essere più robusta e rilevante in termini di stabilizzazione carpale. La sua lacerazione caratterizza lo Stadio III della progressione di Mayfield.

Oltre ai legamenti interossei della fila prossimale, alla stabilità intrinseca del carpo contribuiscono anche:

- Legamenti interossei della fila distale: queste strutture connettono saldamente tra loro trapezio, trapezoide, capitato e uncinato. A differenza dei legamenti della fila prossimale, questi sono estremamente brevi e rigidi, trasformando la fila distale in un'unità funzionale quasi immobile. Questa rigidità è essenziale per fornire una base solida e stabile alle basi delle ossa metacarpali durante le sollecitazioni di carico della mano.

- Legamento arcuato palmare (o legamento a "V" distale): si tratta di un robusto legamento intrinseco costituito da fasci che originano dallo scafoide e dal piramidale per convergere sulla superficie volare del capitato. Come riportato in letteratura, esso può anche essere descritto come il punto di incontro delle porzioni distali dei legamenti radio-capitato e ulno-capitato, ovvero considerando il legamento a "V" distale come porzione terminale dei relativi legamenti estrinseci. In ogni caso, esso rappresenta un elemento fondamentale nella patogenesi delle lussazioni perilunate, delimitando inferiormente lo spazio di Poirier, ovvero l'area di minor resistenza capsulare attraverso cui si realizzano le dislocazioni ossee durante il trauma [2].

Legamenti collaterali estrinseci (o capsulari)

Da citare nella trattazione dell'anatomia legamentosa del carpo, pur non contribuendo in maniera significativa alla stabilità carpale, includono:

- Legamento collaterale radiale: connette lo stiloide radiale allo scafoide.
- Legamento collaterale ulnare: connette lo stiloide ulnare al piramidale.

2.2 Biomeccanica del Carpo

2.2.1 Teorie del movimento carpale

Nel corso degli anni sono state proposte diverse teorie per spiegare la cinematica del carpo:

- *Teoria delle catene articolari*: Kauer ha proposto che il polso funzioni con tre catene articolari longitudinali parallele e interdipendenti. In ciascuna di queste catene, l'osso carpale prossimale funziona come un osso intercalato, e la stabilità intercarpale è ottenuta principalmente dal collegamento delle tre catene tra loro. Inoltre si descrive il legamento scafo-lunato interosseo come un elemento fondamentale nell'armonizzazione reciproca delle posizioni di scafoide e semilunare [4].
- *Teoria delle file*: secondo questa teoria, il carpo funziona come due file distinte (prossimale e distale) che si muovono in modo coordinato ma indipendente. Le

ossa della fila distale sono relativamente strettamente legate tra loro e meno mobili, mentre le ossa della fila prossimale sono meno vincolate. Proponendosi come evoluzione della precedente teoria, questa definisce dunque che la fila prossimale funziona come un segmento intercalato a geometria variabile tra la fila distale e il radio-fibro-cartilagine triangolare [5].

- *Teoria della colonna centrale stabile*: studi più recenti hanno proposto tale nuova teoria, secondo cui il carpo funziona attraverso una colonna centrale stabile (semilunare-capitato-uncinato-trapezoide-trapezio) e una colonna laterale di supporto (scafoide) che si comporta come un sistema a quattro barre. Il piramidale funziona come un vincolo alla traslazione ulnare e controlla la flessione del semilunare [6].

2.2.2 Cinematica carpale normale

Il polso può dunque essere descritto come sistema poliarticolare formato dalle componenti ossee articolari distali di due ossa lunghe, ovvero ulna e radio, e dalle otto ossa carpali. È un sistema complesso, che crea le migliori condizioni per movimenti di presa e di precisione eseguiti dalle dita della mano, il che è possibile grazie all'azione coordinata di movimenti elementari, quali la flessione-estensione, la deviazione radiale, la deviazione ulnare e la prono-supinazione [7]. Nello specifico in questa sede verranno analizzati i movimenti di flessione-estensione e deviazione radio-ulnare, in quanto maggiormente rilevanti per la comprensione delle lesioni perilunate (Fig. 5).

Flessione-estensione:

In condizioni fisiologiche, l'arco di movimento complessivo del polso sul piano sagittale (flessione-estensione) si attesta mediamente tra i 140° e i 150° totali, equamente ripartiti tra una flessione palmare di circa 70°-80° e una estensione (o dorsiflessione) di 60°-70°. Il movimento di flessione-estensione del polso avviene sia a livello dell'articolazione radio-carpica che a livello dell'articolazione medio-carpica, nello specifico riguardando prevalentemente l'articolazione tra radio e semilunare e quella tra semilunare e capitato. Secondo Sarrafian et al. (1977), il movimento articolare si realizza fra radio e semilunare per 26,2° (40%) in flessione e per 37° (66,5%) in estensione, mentre tra semilunare e capitato per 40,12° (60%) in flessione e 18,39° (33,5%) in estensione [8]. È opportuno

considerare che tali proporzioni possono presentarsi in maniera leggermente differente nei vari studi, tuttavia nonostante questa variabilità, emerge un dato costante: l'estensione avviene prevalentemente a livello radio-carpico, mentre la flessione coinvolge maggiormente l'articolazione medio-carpica.

Deviazione radio-ulnare:

A differenza della flesso-estensione, la deviazione radio-ulnare si realizza prevalentemente a livello dell'articolazione medio-carpica, che contribuisce per circa il 60% della deviazione radiale e l'86% della deviazione ulnare [9]. L'ampiezza media del movimento è complessivamente di circa 60°, di cui 45° in deviazione ulnare e 15-20° in deviazione radiale. Entrambe le filiere partecipano al movimento, con la prima filiera che concorre in misura maggiore nella deviazione ulnare, determinando circa il 60% del movimento complessivo. Durante il movimento, il semilunare varia la sua posizione rispetto alla superficie articolare del radio: normalmente la fossa lunata ne accoglie il 62,5% della superficie in posizione neutra, il 50% in deviazione radiale e il 90% in deviazione ulnare. Al movimento di deviazione ulnare è associata un'estensione della prima fila, mentre nella deviazione radiale la prima fila si flette: questo movimento accoppiato (flesso-estensione durante la deviazione radio-ulnare) è fondamentale per mantenere la congruenza articolare e rappresenta un elemento chiave nella comprensione del meccanismo lesivo delle fratture-lussazioni perilunate.

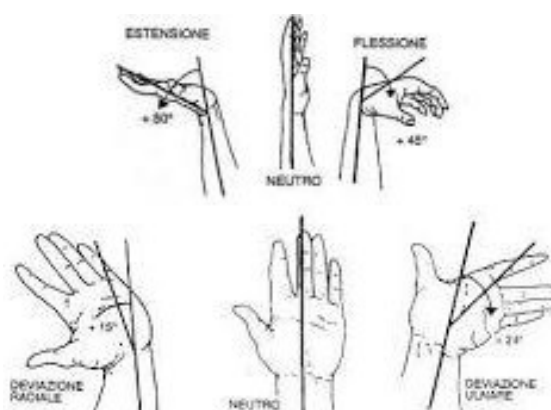


Fig. 5 Movimenti di flesso-estensione e deviazione ulnare e radiale dell'articolazione del polso.

2.2.3 Trasmissione del carico e centro di rotazione

Il polso consente la trasmissione delle forze dalla mano all'avambraccio attraverso un sistema complesso, e in condizioni normali, circa l'80% del carico assiale viene trasmesso attraverso l'articolazione radio-carpica, mentre il restante 20% viene trasmesso attraverso l'articolazione ulno-carpica via il complesso della fibro-cartilagine triangolare. Più nel dettaglio, Schuind et al. (1995) hanno dimostrato che il 55% del carico viene trasmesso attraverso l'articolazione radio-scafoidea, il 35% attraverso la radio-lunata, e il restante 10% attraverso la fibro-cartilagine triangolare, con il picco pressorio più elevato localizzato al polo prossimale dello scafoide. Questa distribuzione asimmetrica del carico contribuisce a spiegare la maggiore vulnerabilità del versante radiale del carpo nelle lesioni traumatiche [10].

Il centro di rotazione del polso intatto è localizzato tra il terzo prossimale e il terzo medio del capitato, variando in funzione della direzione del movimento [11]. La sezione del legamento scafo-lunato da sola non modifica significativamente il centro di rotazione, ma la sezione combinata del legamento scafo-lunato, del legamento intercarpico dorsale e del legamento radio-lunato lungo causa uno spostamento significativo del centro di rotazione, con implicazioni sulla distribuzione del carico e sulla cinematica globale del polso [12].

2.2.4 Stabilità del sistema carpico

In ogni sistema articolare la stabilità è affidata a componenti sia attive (muscolari) che passive (legamenti e morfologia intrinseca del sistema). Oltre alla stabilizzazione passiva fornita dai legamenti, che sono stati precedentemente descritti, il carpo beneficia di una stabilizzazione dinamica mediata dai muscoli dell'avambraccio. Studi recenti hanno evidenziato il ruolo della propriocezione e del controllo neuromuscolare nella stabilità carpale [13].

I muscoli supinatori della fila distale — abduktore lungo del pollice, estensore radiale lungo del carpo e flessore ulnare del carpo (FCU), che nonostante la denominazione agisce come supinatore della fila distale — hanno un effetto protettivo sul legamento scafo-lunato. Al contrario, l'estensore ulnare del carpo (ECU), essendo un pronatore della fila distale, può potenzialmente sollecitare il legamento scafo-lunato. Il flessore radiale

del carpo (FCR), nonostante sia un pronatore della fila distale, ha un effetto benefico in quanto provoca supinazione dello scafoide. Questa comprensione della stabilizzazione dinamica ha importanti implicazioni riabilitative: il rinforzo selettivo dei muscoli supinatori è indicato nelle lesioni del legamento scafo-lunato, mentre il rinforzo dell'ECU e l'allenamento propriocettivo sono fondamentali nelle instabilità luno-piramidali dinamiche.

3. LE FRATTURE-LUSSAZIONI PERILUNATE DEL CARPO

3.1 Definizione e Meccanismo Traumatico

3.1.1 Inquadramento e classificazione degli archi lesionali

Le lussazioni e fratture-lussazioni perilunate del carpo costituiscono un gruppo di lesioni traumatiche rare e intrinsecamente complesse, caratterizzate dalla totale perdita di contatto tra la testa del capitato e la superficie articolare distale del semilunare. Tali quadri clinici si inseriscono nel panorama più ampio delle instabilità del carpo, differenziandosi nettamente dalle instabilità semplici: le forme perilunate sono infatti classificate come instabilità complesse, poiché determinano un'alterazione tridimensionale completa dei rapporti reciproci delle ossa carpali, sia all'interno della medesima filiera sia tra la filiera prossimale e quella distale [14].

L'evento eziopatogenetico primitivo è quasi costantemente rappresentato da un trauma ad alta energia (incidenti stradali o cadute dall'alto generalmente), e in base alla direzione delle forze di scomposizione e alle strutture anatomiche coinvolte, queste lesioni vengono suddivise in tre raggruppamenti principali:

- Le lussazioni perilunari dorsali (le più frequenti);
- Le fratture-lussazioni perilunari dorsali (varianti dell'arco maggiore);
- Le lussazioni perilunari volari (estremamente rare e causate da meccanismi in flessione).

La denominazione stessa di queste lesioni riflette fedelmente la biomeccanica e l'anatomia funzionale del distretto interessato. Il termine “perilunata”, infatti, non circoscrive unicamente la sede topografica del danno, ma ne descrive il comportamento dinamico: l'energia traumatica si estrinseca lungo l'area che circonda il semilunare poiché quest'ultima configura una regione di intrinseca vulnerabilità. Ciò dipende strettamente dall'architettura dei legamenti intrinseci ed estrinseci del polso, i quali definiscono un percorso di minor resistenza attorno a questo osso, che funge da vero e proprio perno centrale della lussazione. È partendo da questo presupposto che Johnson introdusse la fondamentale distinzione tra (Fig. 6):

- **Lesioni dell'arco minore (o piccolo arco):** a estensione puramente legamentosa e capsulare;
- **Lesioni dell'arco maggiore (o grande arco):** in cui il percorso della forza attraversa il tessuto osseo, determinando la frattura di almeno uno degli elementi scheletrici che circondano e si articolano con il semilunare (in primis lo scafoide, seguito dal piramidale o dalla stiloide radiale).

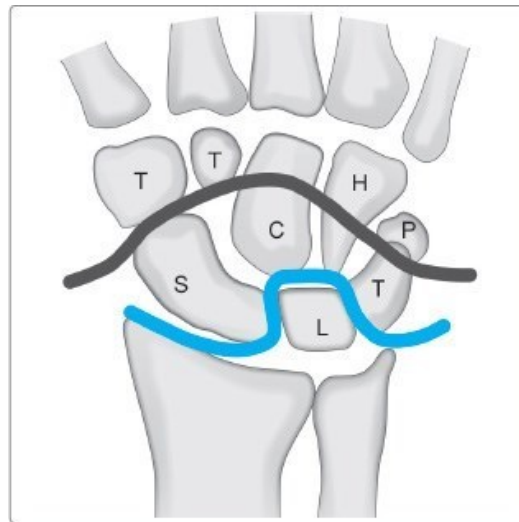


Fig. 6 Lesioni dell'Arco Minore e dell'Arco Maggiore

3.1.2 Il "paradosso meccanico" del semilunare e lo Spazio di Poirier

Per comprendere appieno la cinematica e la progressione di queste lesioni, è necessario analizzare il cosiddetto "paradosso meccanico" del semilunare: nonostante questo osso rappresenti il fulcro attorno al quale si sviluppa la lussazione dell'intero carpo, esso gode di una straordinaria stabilità intrinseca. Il semilunare è infatti l'elemento carpale più saldamente ancorato all'epifisi distale del radio, vincolato sia sul versante volare che dorsale dai robusti legamenti estrinseci (legamento radio-lunato lungo e radio-lunato breve). Durante l'applicazione di un carico ad alta energia, questa forte ritenzione fa sì che il semilunare rimanga inizialmente solidale al radio, comportandosi come un perno immobile e stabile attorno al quale il resto del blocco carpale ruota e lussa in senso dorsale.

A fronte di tale stabilità ossea, il polso presenta tuttavia una specifica area di intrinseca debolezza capsulo-legamentosa sul versante volare: lo *Spazio di Poirier*. Questa regione, di forma triangolare, è situata immediatamente al di sopra dell'articolazione luno-capitata ed è delimitata dalla divergenza anatomica del legamento radio-capitato e del legamento radio-lunato lungo. In questo locus la capsula si presenta estremamente sottile e priva di rinforzi legamentosi strutturali. È precisamente attraverso questa breccia anatomica che si scarica la forza del trauma nelle fasi terminali della lesione: l'apertura forzata dello spazio di Poirier permette la scomposizione definitiva tra la testa del capitato e il semilunare, favorendo la successiva dislocazione di quest'ultimo verso il canale carpale [15]. Questo fenomeno anatomopatologico spiega il frequente riscontro di quadri di compressione acuta del nervo mediano nella pratica clinica. A tal proposito, Scalcione et al. riportano in letteratura una prevalenza di danno o sofferenza acuta del nervo mediano in una percentuale variabile dal 24% al 45% dei casi, dato che trova pieno riscontro clinico ed epidemiologico nella nostra casistica.

3.1.3 Cinematica del trauma e applicazione dei carichi vettoriali

Il meccanismo traumatico più frequentemente riscontrato è indiretto, configurato da una caduta accidentale o da un impatto violento sull'arto superiore a gomito teso e polso in iperestensione, associando componenti simultanee di deviazione ulnare e supinazione. Con l'arto in questa specifica posizione, il punto di massimo impatto cinetico si localizza a livello del tubercolo dello scafoide. Un segno clinico patognomonico e indiretto dell'avvenuto scarico di energia attraverso il pilastro radiale è rappresentato dalla frequente presenza di escoriazioni, ecchimosi o dermoabrasioni cutanee a carico dell'eminanza tenar [14].

Quando questi tre carichi maggiori — impatto sul tubercolo scafoideo, supinazione e deviazione ulnare — agiscono contemporaneamente, si genera un momento di forza torsionale che si propaga attorno a un centro di rotazione virtuale, situato nel centro del corpo del capitato: dal punto di vista legamentoso, il capitato rappresenta infatti il crocevia di giunzione tra il legamento radio-scafo-capitato e il legamento capito-piramidale [16].

Le lesioni perilunari si estendono poi seguendo una precisa progressione in senso radio-ulnare [17]:

1. Le sollecitazioni di media entità (come le fratture isolate dello scafoide causate da una concomitante inclinazione radiale del polso che stabilizza il polo prossimale) rimangono confinate alla regione radiale del carpo.
2. I traumi a maggiore energia cinetica determinano invece il cedimento progressivo sequenziale dei vincoli legamentosi attorno alle quattro faccette articolari del semilunare, secondo la progressione originariamente descritta da Mayfield (Fig. 7). Il primo vincolo a cedere sotto la spinta dell'iperestensione è il legamento radio-scafo-capitato; a causa di questo iniziale cedimento lo scafoide perde la propria contenzione in estensione. Poiché il semilunare è saldamente trattenuto dai legamenti radio-lunati lungo e breve, la forza traumatica residua si trasmette attraverso i legamenti intercarpici volari, determinando la dissociazione scafo-lunata pura nelle varianti d'Arco Minore. Qualora il polso si trovi in deviazione radiale al momento dell'impatto, la stabilizzazione del polo prossimale fa sì che l'energia determini piuttosto la frattura del corpo dello scafoide, configurando l'equivalente osseo dello Stadio I di Mayfield per l'Arco Maggiore.
3. La prosecuzione dell'insulto traumatico destabilizza l'articolazione luno-capitata (Stadio II) conducendo alla violenta traslazione dorsale della filiera distale, e alla lussazione del capitato rispetto al semilunare per lacerazione della capsula volare.
4. L'instabilità si estende infine al lato ulnare del carpo (Stadio III) attraverso la lacerazione del legamento luno-piramidale o la frattura da avulsione del piramidale stesso, causata dalla drammatica tensione esercitata dalla porzione ulnare del legamento arcuato prodotta dalla precedente traslazione dorsale del capitato.
5. Allo stadio terminale (Stadio IV), la combinazione tra il completo fallimento del legamento radio-lunato dorsale e la potente forza di ritorno riflessa esercitata dai muscoli flessori dell'avambraccio spinge il capitato a riguadagnare la sua sede; questo movimento espelle definitivamente il semilunare, che lussa volarmente attraverso lo spazio di Poirier (locus minoris resistentiae di forma triangolare, delimitato dal legamento radio-lunato lungo e dal cosiddetto "*legamento a V*

distale" formato dalle componenti radio-capitata e ulno-capitata), prolassando all'interno del canale carpale.

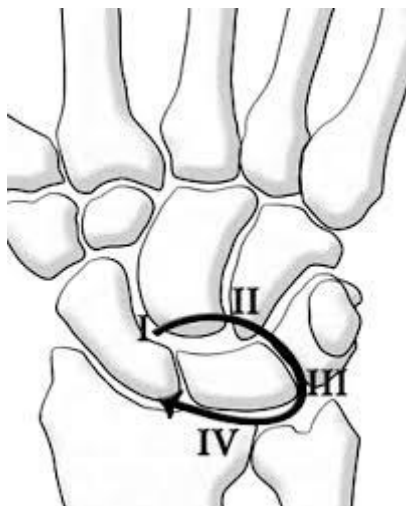


Fig. 7 Stadi dell'instabilità perilunare progressiva: Stadio I (dissociazione scafo-lunata); Stadio II (lussazione luno-capitata); Stadio III (dissociazione luno-piramidale); Stadio IV (lussazione del semilunare).

I concetti meccanici appena esposti saranno ripresi e ulteriormente ampliati successivamente, all'interno del paragrafo dedicato alla classificazione delle lesioni perilunate.

3.2 Epidemiologia e Rilevanza Clinica

Le lussazioni e fratture-lussazioni perilunate del carpo sono lesioni rare rappresentando nel complesso circa il 5% delle lesioni traumatiche del polso [14]. Green e O'Brien descrissero queste lesioni come "sufficientemente rare e complesse da precludere ad un singolo chirurgo di acquisire l'esperienza necessaria per comprenderle pienamente ed elaborare un protocollo terapeutico adeguato" [18]. Il che è sicuramente suggestivo e permette di comprendere il motivo per cui a tutt'oggi il loro management rimane piuttosto controverso. Ma altrettanto sicuramente, nonostante la bassa frequenza assoluta, queste lesioni rivestono particolare rilevanza clinica in virtù della loro gravità in termini di instabilità carpale e delle potenziali conseguenze funzionali a lungo termine.

Dal punto di vista della distribuzione tra le diverse tipologie lesionali, le fratture-lussazioni risultano nettamente più frequenti rispetto alle lussazioni pure, le quali sono una minoranza, precisamente stimata intorno al 20% da una recente revisione sistematica [19].

Inoltre, come riportato dallo studio multicentrico di Herzeberg et al. (1993), la direzione della lussazione è un ulteriore aspetto epidemiologico rilevante: lussazioni dorsali rappresentano la forma di lesione perilunata di gran lunga più frequente, costituendo il 97% di tutti i casi, mentre le lussazioni volari sono rare, rappresentando solo il 3% dei casi [20]. Questa marcata predominanza delle forme dorsali riflette il meccanismo traumatico tipico di queste lesioni, che infatti avviene in iperestensione del polso, mentre le lussazioni volari, al contrario, derivano da un meccanismo traumatico opposto in flessione forzata. Anche nell'ambito delle fratture-lussazioni, la direzione dorsale è nettamente prevalente: le fratture-lussazioni dorsali rappresentano il 96% di questa categoria, mentre le forme volari sono estremamente rare.

Tra le fratture-lussazioni dorsali, la variante trans-scafoidea (stadio IV di Mayfield) rappresenta la forma più comune, mentre altre varianti meno frequenti includono le fratture-lussazioni trans-stiloide radiale, trans-capitato, trans-piramidale e le forme combinate. A sua volta, la predominanza della variante trans-scafoidea è spiegata dalla particolare vulnerabilità biomeccanica dello scafoide durante il meccanismo lesivo progressivo descritto da Mayfield, in cui lo scafoide rappresenta frequentemente il punto di cedimento osseo prima del completamento della dissociazione legamentosa perilunare.

A questo punto è rilevante considerare anche l'aspetto epidemiologico relativo alle lesioni ossee associate. La frattura dello scafoide rappresenta la lesione ossea più frequentemente associata, presente in una percentuale variabile tra il 43% e il 65% dei casi secondo le diverse casistiche, mentre le fratture del piramidale sono meno frequenti, con un'incidenza riportata in letteratura che varia ampiamente dal 6% al 33% dei casi [14]. Altre lesioni ossee associate possono includere fratture della stiloide radiale, del capitato e del semilunare stesso, sebbene con frequenza inferiore [20, 19]. La presenza e la tipologia delle fratture associate hanno implicazioni prognostiche significative, influenzando sia la strategia chirurgica che gli outcomes funzionali a lungo termine.

Relativamente ai meccanismi traumatici più frequenti, è da considerare innanzitutto il fatto che le fratture-lussazioni perilunate sono lesioni che si sviluppano tipicamente in seguito a traumi ad alta energia. I meccanismi traumatici più spesso riportati includono precipitazioni dall'alto (sia da altezze inferiori a 3 metri che superiori, ciascuna rappresentando circa il 24% dei casi), incidenti motociclistici (24%), collisioni bicicletta-automobile o aggressioni (10%), e investimenti pedone-automobile (5%) [21]. In questi contesti si viene a determinare un meccanismo di lesione che consiste in una iperestensione del polso associata a contemporanea sollecitazione in ulnarizzazione e supinazione, producendo una progressione sequenziale del danno attraverso le strutture carpali, come descritto Mayfield, e come analizzato nella relativa sezione dedicata.

La natura traumatica e ad alta energia delle lesioni perilunate si riflette poi nell'aspetto demografico: esse colpiscono infatti prevalentemente soggetti di sesso maschile e in età giovane-adulta. L'età media al momento del trauma varia tra i 33 e i 38 anni nelle diverse casistiche pubblicate, e si nota una netta predominanza maschile che raggiunge il 92% in alcune serie recenti e il 100% nella nostra casistica [21, 22, 23]. Questo ha chiaramente importanti implicazioni socio-economiche, trattandosi di soggetti tipicamente in età lavorativa attiva, spesso impegnati in attività manuali, il recupero funzionale da tali lesioni assume un'importanza cruciale non solo dal punto di vista clinico ma anche in termini di capacità lavorativa e qualità di vita. Gli studi che hanno valutato il ritorno al lavoro dopo queste lesioni riportano dati variabili ma generalmente sfavorevoli: solo il 60% dei pazienti riesce a tornare alla propria occupazione precedente, e di questi, circa la metà richiede una riqualificazione professionale [24]. A distanza di 8 anni dal trauma, i pazienti continuano a riportare dolore significativo, limitazione funzionale e ridotta soddisfazione rispetto ai controlli sani, sebbene la partecipazione lavorativa possa essere mantenuta [25].

Per comprendere meglio l'aspetto appena descritto, occorre considerare quella che è una problematica particolarmente rilevante di tali lesioni, ovvero il ritardo diagnostico. Si stima che nel ben 25% dei casi esse non vengano adeguatamente individuate ad una prima valutazione, a causa della complessità intrinseca del pattern lesionale, della possibile sottovalutazione radiografica, e talvolta della presenza di lesioni associate che possono distogliere l'attenzione clinica [20, 26]. Come evidente, questo dato è rimasto sostanzialmente invariato nel corso degli anni nonostante i progressi nelle tecniche di

imaging. Da ciò si evince l'importanza di un adeguato sospetto clinico e di una sistematica valutazione radiografica del polso traumatizzato, anche perché il ritardo diagnostico e terapeutico ha dimostrato di avere un importante impatto negativo sui risultati clinici finali, rendendo la diagnosi precoce un fattore prognostico fondamentale per ottimizzare gli outcomes funzionali [20, 27].

3.3 Classificazione

La complessità anatomopatologica e l'eterogeneità dei pattern lesionali riscontrabili nelle lussazioni e fratture-lussazioni perilunate hanno guidato, nel corso degli anni, lo sviluppo di diversi sistemi di classificazione. Tali modelli non rispondono a una mera esigenza descrittiva, ma si pongono come indispensabili strumenti prognostici e terapeutici, consentendo la standardizzazione del planning chirurgico e il monitoraggio dei risultati a lungo termine.

3.3.1 La progressione di Mayfield

La patogenesi delle lussazioni perilunate è stata studiata sperimentalmente da Mayfield et al., i quali hanno proposto un modello interpretativo fondamentale per comprendere l'instabilità carpale pura (legamentosa) [15]. Gli autori hanno dimostrato che tali lesioni si sviluppano in maniera sequenziale e progressiva, secondo uno schema comune a tutte le instabilità maggiori del polso. La progressione si articola in quattro stadi successivi (Fig. 8), ciascuno corrispondente al cedimento sequenziale di precisi vincoli stabilizzatori capsulo-legamentosi (Arco Minore), con possibili varianti ossee associate (Arco Maggiore):

- **Stadio I. Dissociazione scafo-lunata o frattura dello scafoide:** Rappresenta l'evento iniziale in cui la forza traumatica determina la lesione del legamento scafo-lunato interosseo (SLIL) e della porzione palmare della capsula (legamento radio-scafo-capitato). La violenta iperestensione del polso viene trasmessa allo scafoide dai legamenti intercarpici volari, mentre il semilunare è saldamente trattenuto dai legamenti radio-lunati. Sottoposto a una severa forza torsionale, il legamento scafo-lunato interosseo si lacera o si avulsa a partire dalla sua porzione volare, fino alla completa dissociazione articolare. Qualora il polso si trovi in

inclinazione radiale al momento del trauma, il polo prossimale dello scafoide risulta anch'esso vincolato dai legamenti radio-carpici; in questa specifica configurazione biomeccanica si può verificare la frattura dello scafoide, che dà avvio all'instabilità perilunare progressiva. In tal caso, il frammento prossimale scafoideo rimane generalmente solidale al semilunare, seguendone i successivi spostamenti.

- **Stadio II. Lussazione luno-capitata:** La linea di forza si propaga distalmente attraverso lo spazio medio-carpico. La prosecuzione dell'azione lesiva determina la traslazione dorsale della filiera distale, configurando la lussazione del capitato rispetto al semilunare. Questo passaggio comporta la contestuale lacerazione della capsula volare in corrispondenza dello spazio di Poirier, area anatomica di intrinseca debolezza.
- **Stadio III. Dissociazione luno-piramidale o frattura del piramidale:** Il danno progredisce ulteriormente coinvolgendo il versante ulnare del carpo. La dislocazione dorsale del capitato produce una violenta tensione a carico del legamento intercarpico che unisce uncinato, capitato e piramidale (porzione ulnare del legamento arcuato), traendo il piramidale stesso in senso dorsale. Tale sollecitazione conduce alla lacerazione del legamento luno-piramidale interosseo (LTIL) o, in circa un quarto dei casi, provoca una frattura del piramidale, sia essa disposta sul piano sagittale o da avulsione del suo polo prossimale. A questo stadio, l'intero blocco carpale risulta lussato dorsalmente, mentre il semilunare rimane l'unico elemento superstite ancorato alla fossa lunata del radio.
- **Stadio IV. Lussazione del semilunare:** Configura lo stadio terminale della progressione traumatica e non un'entità clinica a sé stante. La successiva tendenza alla riduzione spontanea della lussazione medio-carpica spinge la testa del capitato a esercitare una forza di ritorno sul semilunare, causandone la traslazione volare e la contestuale lacerazione del legamento radio-carpico dorsale. La lussazione volare del semilunare all'interno del tunnel carpale si associa a una rotazione del corpo osseo sul legamento radio-lunato volare, qualora rimanga integro; nel caso in cui anche questo vincolo venga lacerato, si può assistere alla completa enucleazione del semilunare. Questo stadio si associa a un rischio

altissimo di compressione acuta del nervo mediano, con importanti implicazioni clinico-chirurgiche d'urgenza.

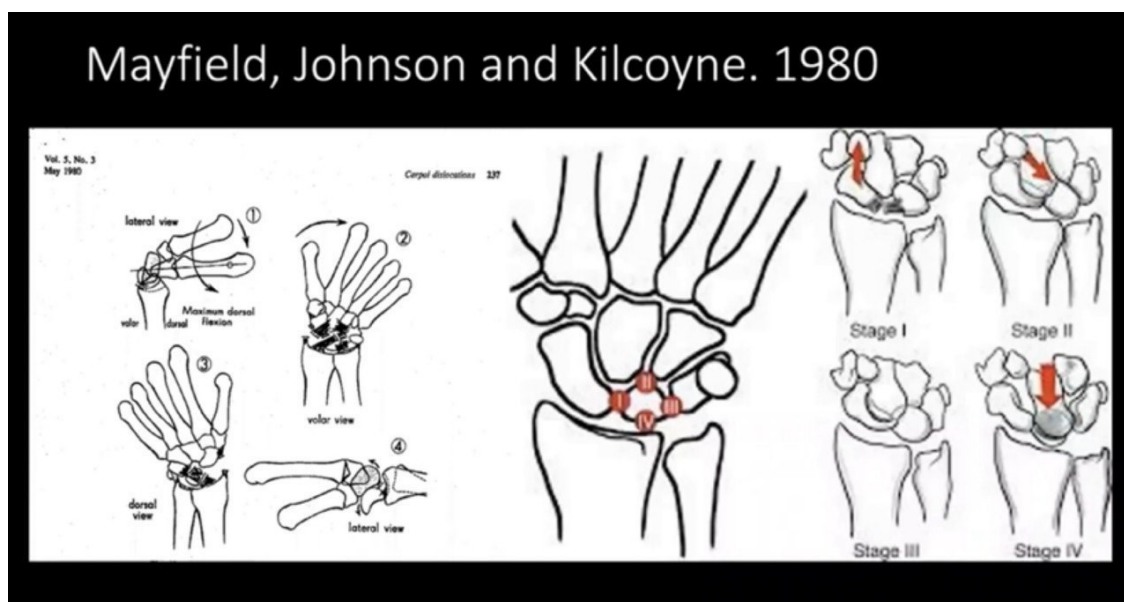


Fig. 8 La progressione sequenziale di Mayfield, Johnson e Kilcoyne.

3.3.2 La classificazione di Green e O'Brien

Mentre il modello di Mayfield descrive prevalentemente l'insulto legamentoso a carico dell'Arco Minore, la classificazione delle lussazioni del carpo proposta da Green e O'Brien introduce una distinzione fondamentale basata sulle strutture ossee eventualmente coinvolte dall'energia traumatica, mappando le varianti dell'Arco Maggiore [28]. È a questa che fa riferimento la letteratura anglosassone, e tale sistema distingue tali lesioni in sei classi:

Classe I. Lussazione perilunare dorsale/volare del semilunare: Il danno risparmia la componente ossea e si propaga esclusivamente lungo le strutture capsulo-legamentose dell'Arco Minore, determinando la pura lussazione del carpo circostante, dorsale o volare, rispetto al semilunare in sede.

Classe II. Frattura-lussazione perilunare trans-scafoidea: Configura il pattern di Arco Maggiore di più frequente riscontro clinico. La linea di frattura attraversa il corpo dello scafoide (corrispondente al cedimento del pilastro radiale del carpo), associandosi alla

lussazione posteriore del frammento scafoideo distale e del resto del blocco carpale attorno al semilunare.

Classe III. Lussazioni e fratture-lussazioni volari: Categoria speculare e decisamente più rara, causata da traumi in flessione forzata, in cui la scomposizione e la dislocazione degli elementi carpali avvengono in senso palmo-volare.

Classe IV. Varianti: Questa classe accoglie i pattern lesionali complessi e meno frequenti che deviano dalla classica rima trans-scafoidea. Comprende:

- La lussazione perilunata trans-stiloide radiale
- La sindrome di Fenton (frattura-lussazione trans-scafo-trans-capitata perilunare dorsale)
- La lussazione perilunata trans-piramidale
- Le forme da avulsione e le miscellanee ad alta scomposizione

Classe V. Sublussazione rotatoria dello scafoide: Configura una condizione di instabilità acuta o cronica in cui lo scafoide, a causa della perdita dei vincoli legamentosi scafo-lunati e radio-scafoidi, perde i suoi normali rapporti geometrici e ruota in flessione palmare, pur senza arrivare a una lussazione completa del corpo osseo.

Classe VI. Lussazione dello scafoide: Rappresenta lo stadio terminale dell'instabilità isolata del pilastro radiale. Lo scafoide perde completamente ogni rapporto articolare sia con il radio che con le ossa della fila distale (capitato e trapezio), venendo espulso dalla sua loggia anatomica.

3.3.3 La classificazione radiografica di Herzberg et al.

Nel 1993, Herzberg et al. hanno proposto una classificazione radiografica basata sull'analisi combinata delle due proiezioni ortogonali standard (Fig. 9), ovvero postero-anteriore e laterale [20].

Proiezione Postero-Anteriore: consente la differenziazione della lesione in base al coinvolgimento scheletrico, distinguendo:

- **Lussazioni perilunari pure:** caratterizzate dall'integrità strutturale degli elementi ossei del carpo (in primis lo scafoide) e dal danno confinato ai complessi legamentosi;
- **Fratture-lussazioni perilunari:** in cui l'energia traumatica determina una o più rime di frattura a carico delle ossa che circondano il semilunare (prevalentemente la variante trans-scafoidea).

Proiezione Laterale: va ad analizzare la dislocazione del capitato, consentendo la distinzione di due stadi evolutivi:

- **Stadio I:** il semilunare è in sede e mantiene la sua normale congruenza articolare all'interno della fossa lunata del radio, mentre il capitato è lussato, in direzione dorsale o, più raramente, volare.
- **Stadio II:** configura la perdita dei rapporti anatomici stabili tra il radio e il semilunare, con quest'ultimo che risulta completamente lussato (dorsalmente o volarmente). Questo stadio viene ulteriormente dettagliato in base al grado di rotazione del corpo del semilunare sul profilo sagittale:
 - *Sottostadio IIa:* La rotazione del semilunare rispetto all'asse del radio è contenuta entro i 90°.
 - *Sottostadio IIb:* La rotazione del semilunare supera i 90°, indice di una completa e severa avulsione di tutti i vincoli capsulo-legamentosi sia volari che dorsali.

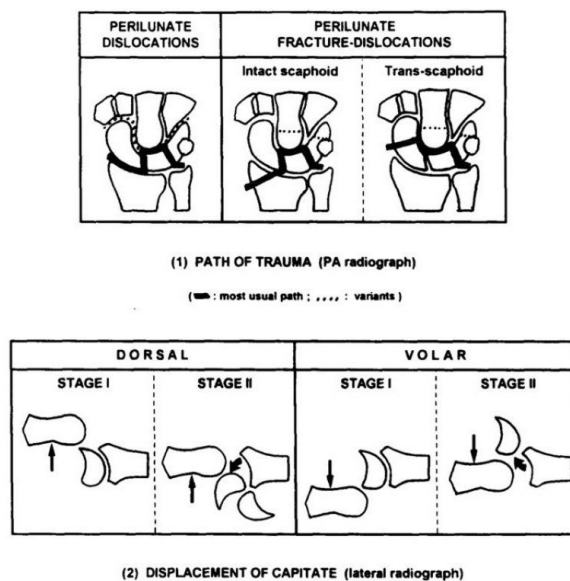


Fig. 9 Classificazione delle lussazioni e fratture-lussazioni perilunate secondo Herzberg et al.

3.3.4 Classificazione artroscopica EWAS delle lesioni scafo-lunate

Nelle fratture-lussazioni perilunate e nelle instabilità carpali, la valutazione dei singoli legamenti richiede scale di grading dedicate per guidare adeguatamente il gesto ricostruttivo. In questo contesto è da citare la classificazione artroscopica della European Wrist Arthroscopy Society [29], utilizzata durante i tempi di esplorazione artroscopica del polso, questa scala valuta la stabilità e la competenza del legamento scafo-lunato interosseo (SLIL) mediante test dinamici effettuati con il palpatore introducendosi sia dallo spazio radio-carpico che medio-carpico (Fig. 10):

- **Stadio I:** Assenza di lesioni strutturali; il legamento si presenta teso e il palpatore non riesce a penetrare nell'interspazio articolare.
- **Stadio II:** Lesione di tipo membranoso del SLIL. Si apprezza una parziale lassità, ma senza una reale instabilità dinamica dei capi ossei.
- **Stadio III:**
 - *Sottostadio III A:* Lesione parziale isolata della componente volare del legamento.
 - *Sottostadio III B:* Lesione parziale isolata della componente dorsale
 - *Sottostadio III C:* Lesione completa del SLIL; lo spazio è pervio al palpatore, ma l'articolazione scafo-lunata mantiene una riducibilità manuale spontanea.
- **Stadio IV:** Lesione completa del SLIL, associata a un allargamento macroscopico e permanente dell'articolazione scafo-lunata, visibile anche senza stress dinamici.
- **Stadio V:** Presenza di un gap scafo-lunato cronico, associato ad alterazioni radiografiche franche e statiche (pattern DISI).

Stadiazione artroscopica EWAS delle rotture del SLIL		
Stadio	Descrizione	Riscontro artroscopico (portale radiocarpico medio radiale)
I	Allungamento	Nessun passaggio della sonda
II	Rottura della membrana prossimale dello SL	La punta della sonda attraversa lo spazio SL senza allargamento
IIA	II + rottura volare dello SL	Allargamento volare dello SL con la sonda (lassità anteriore)
IIB	II + rottura dorsale dello SL	Allargamento dorsale dello SL con la sonda (lassità posteriore)
IIC	II + rottura volare e dorsale	Allargamento globale, riducibile alla rimozione della sonda
IV	IIC + gap SL, senza malallineamento	Diasiasi senza alterazioni radiografiche
V	IV + malallineamento carpale	Ampio gap SL con anomalie radiografiche

Modificato da Messina et al. (classificazione EWAS).

Fig. 10 Stadiazione artroscopica EWAS delle rotture del SLIL.

3.3.5 Classificazione di Andersson-Garcia-Elias

Specificamente concepita per l'approccio chirurgico a cielo aperto (Open), questa classificazione analizza la morfologia del danno a carico della componente dorsale del legamento scafo-lunato (Fig. 11) [30]:

- **Tipo 1. Avulsione laterale** (42% dei casi): il legamento si distacca direttamente dalla sua inserzione sul versante osseo dello scafoide.
- **Tipo 2. Avulsione mediale** (16% dei casi): il legamento si avulsa dal versante d'inserzione del semilunare.
- **Tipo 3. Lesione intraligamentosa** (20% dei casi): la rottura avviene nel corpo centrale del legamento.
- **Tipo 4. Lesione parziale con elongazione** (22% dei casi): Il legamento non è macroscopicamente interrotto, ma si presenta severamente compromesso.

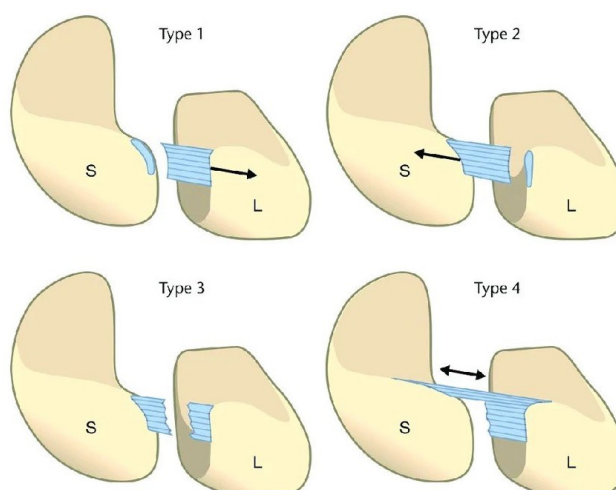


Fig 11. Classificazione di Andersson-Garcias-Elias del danno a carico della componente dorsale del legamento scafo-lunato.

3.3.6 La classificazione delle lesioni luno-piramidali secondo Viegas

Il completo inquadramento delle lesioni perilunari non può prescindere dall'analisi dei vincoli legamentosi del versante ulnare del carpo, dove il legamento luno-piramidale gioca un ruolo fondamentale di stabilizzazione della filiera prossimale. A tal proposito, la stadiazione codificata da Viegas e i suoi collaboratori rappresenta il sistema di

riferimento a livello internazionale per catalogare l'entità del danno a carico del legamento luno-piramidale e la conseguente instabilità carpale in *VISI (Volar Intercalated Segment Instability)*.

La classificazione si articola in tre gradi crescenti di gravità [31]:

- **Grado 1:** si configura come una lesione parziale o incompleta del legamento luno-piramidale. In questo stadio non si repertano segni radiografici o clinici di deformità segmentaria in VISI.
- **Grado 2:** caratterizzato da una lesione completa del legamento luno-piramidale. Sotto il profilo cinematico, tale quadro si associa a un'instabilità di tipo dinamico, evidenziabile prevalentemente sotto carico o durante l'esecuzione di manovre stress specifiche, configurando una deformità in VISI dinamica.
- **Grado 3:** Rappresenta lo stadio terminale del danno ulnare, definito dalla lacerazione completa del legamento luno-piramidale associata alla contestuale interruzione strutturale dei robusti legamenti capsulari volari e dorsali. La perdita totale dei vincoli di contenzione determina l'insorgenza di una deformità in VISI statica, chiaramente visibile nelle proiezioni radiografiche standard a riposo.

3.4 Diagnosi e Imaging

3.4.1 Inquadramento clinico e esame obiettivo

Da un punto di vista anamnestico i pazienti affetti da una frattura-lussazione perilunata del carpo tipicamente presentano un trauma violento e ad alta energia, come ad esempio una caduta dall'alto o un incidente stradale. Non di rado, ci si trova di fronte a quadri di politrauma in cui lo stato di incoscienza o la gravità delle condizioni generali del paziente pongono in secondo piano la problematica a livello del polso. A ciò si aggiunge il fatto che, all'esame obiettivo iniziale, si riscontra frequentemente una tumefazione associata a dolorabilità diffusa piuttosto che una deformità clinica macroscopica; tale presentazione clinica sfumata contribuisce alla sottovalutazione o al ritardo diagnostico del trauma carpale, spiegando perché queste lesioni siano spesso misconosciute in prima battuta [14].

Secondo l'autorevole studio multicentrico di Herzberg et al., circa il 25% dei casi non viene diagnosticato alla presentazione primaria [20].

L'esame obiettivo deve prevedere la sistematica ricerca di aree elettive di dolorabilità alla palpazione e la misurazione dell'escursione articolare attiva e passiva del polso. Risulta inoltre mandatorio un accurato esame neurologico periferico: un eventuale interessamento del nervo mediano deve essere tempestivamente riconosciuto e valutato. Tale sofferenza neurologica può essere secondaria alla contusione diretta al momento del trauma, a una compressione ischemica acuta determinata dall'ematoma raccolto all'interno del tunnel carpale o, macroscopicamente, alla dislocazione delle strutture ossee lussate nel canale carpale [14].

3.4.2 Valutazione radiografica convenzionale

In regime di urgenza, il protocollo diagnostico prevede un esame radiografico del polso in due proiezioni ortogonali standard: postero-anteriore (PA) e laterale (LL), eseguite con il polso in posizione neutra, compatibilmente con le condizioni cliniche del paziente.

La proiezione laterale rappresenta il fulcro diagnostico, in quanto consente di evidenziare lo spostamento della testa del capitato rispetto al semilunare e la concomitante orizzontalizzazione dello scafoide [14]. In condizioni di normalità, la proiezione LL mostra il perfetto allineamento coassiale tra la superficie articolare distale del radio, il semilunare, il capitato e la base del terzo metacarpo; nei quadri di lussazione perilunata, tale asse anatomico risulta interrotto.

La proiezione postero-anteriore permette invece di valutare la perdita dei normali rapporti reciproci tra le due filiere carpali attraverso l'interruzione dei profili degli archi di Gilula [32]. Come evidenziato nella Fig.12, in un polso sano, si descrivono tre linee arcuate e parallele:

- Primo arco: delineato dalla convessità delle superfici articolari prossimali di scafoide, semilunare e piramidale;
- Secondo arco: costituito dalla superficie distale concava delle medesime ossa della fila prossimale;
- Terzo arco: delineato dalle superfici prossimali convesse del capitato e dell'uncinato.

Il riscontro di un gradino radiografico o di un'interruzione della continuità della linea arcuata a livello del primo o del secondo arco è indicativo di una lesione a carico della fila prossimale, mentre un'alterazione del terzo arco depone per un danno osseo o legamentoso della fila distale [33].



Fig. 12 Radiografia in proiezione P-A in cui sono stati messi in evidenza rispettivamente: le linee che definiscono gli archi di Gilula.

In proiezione PA è inoltre possibile valutare l'integrità del legamento scafo-lunato interosseo (SLIL): una diastasi scafo-lunata (Fig. 12) superiore ai 2 mm deve destare sospetto clinico; tuttavia, come evidenziato da Griffith et al., uno spazio compreso tra 2 mm e 4 mm può rientrare nella variabilità anatomica individuale, mentre un valore superiore ai 4 mm definisce la presenza di un quadro sicuramente anomalo, è patognomonico di una lesione legamentosa completa [34]. Quando il legamento SLIL è compromesso, lo scafoide tende alla flessione palmare, mentre il semilunare tende a estendersi dorsalmente. In caso di lussazione, il semilunare perde la sua normale silhouette quadrangolare in proiezione PA, assumendo una caratteristica forma triangolare (morfologia “a spicchio”) [3].

La proiezione laterale consente inoltre di valutare il rapporto tra scafoide e semilunare mediante il calcolo dell'angolo scafo-lunato (Fig. 13). Questo parametro si ottiene

dall'intersezione tra l'asse longitudinale dello scafoide e l'asse longitudinale del semilunare [3]. Il valore fisiologico normale oscilla tra i 30° e i 60°:

- Un valore superiore ai 60° indica un'alterazione dei rapporti tra le due strutture, associata a un'inclinazione dorsale del semilunare. Questo quadro configura l'instabilità dorsale del segmento intercalato (DISI), secondaria alla lesione del legamento scafo-lunato interosseo e dei legamenti estrinseci dorsali.
- Un valore inferiore ai 30° indica uno spostamento in flessione palmare del semilunare, configurando un quadro di instabilità volare del segmento intercalato (VISI), tipicamente associato alla lesione del legamento interosseo luno-piramidale (LTIL) e del legamento radio-carpico dorsale.



Fig. 13 Angolo scafo-lunato (in verde) ottenuto dall'intersezione dall'asse dello scafoide (retta blu) e asse del semilunare (retta rossa).

L'analisi combinata delle due proiezioni permette di orientare lo staging radiografico secondo i criteri di Mayfield [16, 35]:

- Stadio I: si caratterizza per un aumento dell'angolo scafo-lunato superiore ai 60° in proiezione laterale e si nota un'anomala diastasi scafo-lunata in proiezione PA.
- Stadio II: non presenta reperti radiografici legamentosi specifici che lo differenzino dallo Stadio I, configurando un quadro analogo a cui si associa, tuttavia, una iniziale perdita dell'allineamento coassiale luno-capitato.

- Stadio III: comporta una dissociazione luno-piramidale o una frattura del piramidale. Non essendovi parametri goniometrici diretti e univoci per la linea luno-piramidale, il sospetto viene dedotto indirettamente dalla valutazione dello spazio scafo-lunato e dal riscontro di un angolo scafo-lunato inferiore a 30° (tendenza al pattern VISI).
- Stadio IV: caratterizzato dalla dislocazione volare completa del semilunare nel canale carpale, reperto di immediata rilevazione nella proiezione laterale, associato alla sovversione geometrica del profilo osseo in proiezione PA.

Nello studio del trauma acuto, il protocollo standard appena descritto può essere integrato da due proiezioni supplementari per escludere lesioni ossee, ovvero il quadro di lesione dell'Arco Maggiore: la proiezione specifica per lo scafoide (PA con deviazione ulnare, clenched fist view) e la proiezione obliqua a 45° in semipronazione [14]. Inoltre, come suggerito da Green et al., l'esecuzione delle radiografie standard con l'arto in trazione consente, tramite la distrazione articolare, di ridurre le sovrapposizioni ossee, rendendo più agevole l'identificazione di fratture parcellari, rime occulte dello scafoide (la lesione dell'Arco Maggiore più frequentemente correlata), o lesioni osteocondrali della stiloide radiale e del piramidale [28].

3.4.3 Imaging di secondo livello: TC e RM

Sebbene la radiologia convenzionale rimanga l'indagine di primo livello fondamentale e insostituibile, essa può sottostimare la reale entità del danno capsulo-legamentoso e osseo: per definire l'esatta estensione del trauma carpale è necessario ricorrere all'imaging sezionale tramite Tomografia Computerizzata (TC) e Risonanza Magnetica (RM) [35,16].

La Tomografia Computerizzata spirale multistrato ad alta risoluzione azzerà le sovrapposizioni anatomiche, consentendo una valutazione ottimale della lussazione e l'identificazione di fratture occulte o rime di scomposizione non visibili alla radiografia standard. Le ricostruzioni tridimensionali (3D) si rivelano uno strumento di straordinaria utilità per interpretare la direzione di dislocazione dei capi articolari e il grado di scomposizione dei frammenti ossei, ottimizzando il planning chirurgico (Fig. 14).

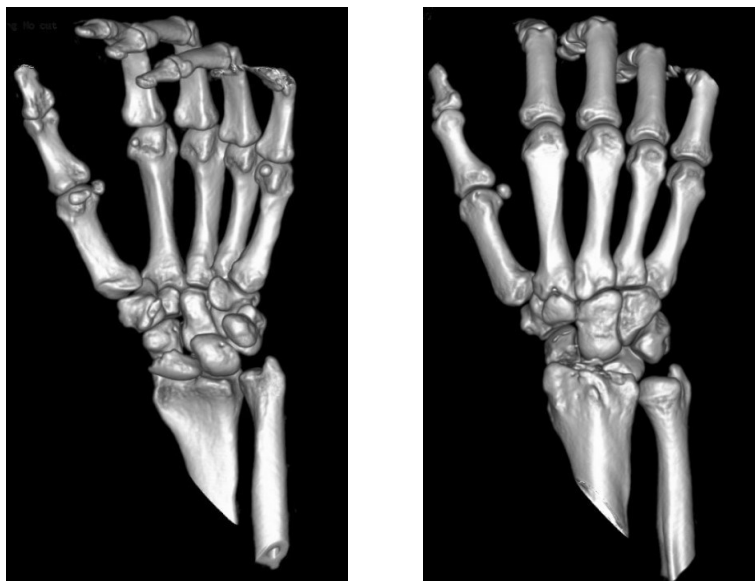


Fig. 14 Ricostruzione tridimensionale TC pre-operatoria.

La Risonanza Magnetica offre un contrasto tissutale superiore, ideale per lo studio delle strutture non ossee. Oltre a rilevare le rime di frattura trabecolari, evidenziando l'eventuale edema del midollo osseo, la RM permette anche di valutare direttamente l'integrità del complesso capsulo-legamentoso e della fibrocartilagine triangolare (TFCC). Tuttavia, sotto il profilo della gestione clinica, l'esecuzione di una RM trova indicazione fondamentalmente a distanza dal trauma o nel follow-up a lungo termine; in questa fase si rivela cruciale per monitorare i processi di neo-angiogenesi rigenerativa, diagnosticare precocemente l'eventuale osteonecrosi avascolare delle ossa carpali coinvolte, valutare l'assottigliamento della cartilagine articolare e monitorare l'insorgenza dell'artrosi post-traumatica.

In passato il ricorso all'imaging di secondo livello in fase acuta non era considerato mandatorio nel sospetto di una lesione perilunata. Ad oggi tale paradigma è stato ampiamente rivisto per quanto concerne l'esecuzione sistematica della Tomografia Computerizzata, che rappresenta l'indagine d'urgenza insostituibile per azzerare le sovrapposizioni ossee e pianificare il planning chirurgico, sebbene la letteratura internazionale debba ancora definire linee guida univoche a causa della rarità e dell'eterogeneità di queste lesioni.

Un aspetto clinico di estrema rilevanza, che supporta l'uso estensivo dell'imaging di secondo livello, è la possibilità di riduzioni spontanee in traumi ad alta energia. Lesioni legamentose pure, ovvero dell'Arco Minore, in Stadio 3 o 4 di Mayfield possono ridursi spontaneamente prima dell'arrivo in pronto soccorso: in questi casi, la radiografia standard può mostrare rapporti articolari apparentemente normali o solo lievemente alterati. Pertanto, un'anamnesi fortemente suggestiva di trauma ad alta energia (come un incidente motociclistico) associata a clinica positiva, con tumefazione della regione del carpo, deve orientare verso l'esecuzione di una TC o di una RM, garantendo un corretto staging e un'adeguata pianificazione terapeutica (Fig 15).

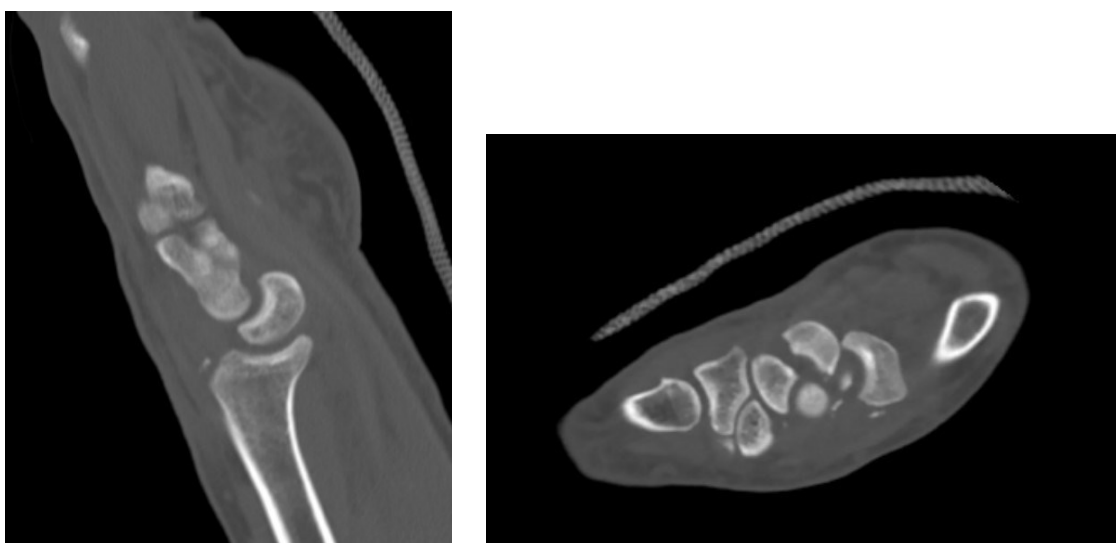


Fig. 15 Studio pre-operatorio con imaging sezionale tramite Tomografia Computerizzata.

3.5 Orientamenti Terapeutici e Tecniche e Chirurgiche

Le fratture-lussazioni perilunate rappresentano i traumi ad alta energia più complessi che possano colpire l'architettura carpale, determinando un massivo sconvolgimento dei rapporti articolari e di allineamento. Un trattamento precoce e aggressivo si rende necessario al fine di prevenire complicanze importanti, quali l'instabilità cronica, la neuropatia compressiva del nervo mediano e la rapida insorgenza di quadri di artrosi post-traumatica radio-carpica e medio-carpica [36, 37].

La letteratura internazionale è concorde nel ritenere che il solo trattamento incruento associato all'immobilizzazione gessata esiti quasi invariabilmente in tassi inaccettabili di pseudoartrosi dello scafoide, instabilità segmentaria cronica (DISI/VISI) e panartrosi [37, 38].

La riduzione cruenta associata a fissazione interna e riparazione legamentosa (ORIF), eseguita a cielo aperto, garantisce le migliori probabilità di ripristinare l'allineamento anatomico osseo e la stabilità dei vincoli capsulo-legamentosi [14]. Tuttavia, l'insulto chirurgico open comporta inevitabilmente un tasso di fibrosi cicatriziale che, sommandosi al danno tessutale primitivo del trauma, esita in una riduzione dell'arco di movimento (*Range of Motion*, ROM) del polso, quantificabile tra il 57% e il 75% rispetto all'arto controlaterale [39].

Proprio per questo motivo, a partire dagli anni '90 è stato introdotto e si è progressivamente diffuso l'approccio assistito per via artroscopica: questo consente di ottenere il medesimo grado di accuratezza nella riduzione anatomica delle fratture-lussazioni, riducendo drasticamente l'invasività biologica della procedura [39, 40].

3.5.1 Trattamento incruento d'urgenza: la manovra di riduzione manuale

In presenza di una lussazione acuta del semilunare sul versante volare (Stadio IV di Mayfield), è necessaria l'esecuzione immediata di una manovra di riduzione incruenta, efficace nel liberare il canale carpale e arrestare la sofferenza e compressione del nervo mediano. La manovra, derivata dalla tecnica originaria di Tavernier, richiede una sedazione profonda del paziente, finalizzata ad ottenere un completo rilasciamento muscolare e annullare le contratture riflesse che ostacolerebbero la riduzione [14].

La manovra si articola nelle seguenti fasi sequenziali [36]:

1. L'arto superiore viene posizionato con spalla abdotta e gomito flesso a 90°, e si applica una trazione assiale continua e costante attraverso il II e il III dito, contrastata da una controtrazione fissa a livello del braccio.
2. Mentre si mantiene la trazione, si esercita una pressione digitale sul versante volare del polso, in corrispondenza della prima piega palmare, dove si palpa il profilo del semilunare lussato.

3. Contemporaneamente, il polso viene portato in iperestensione per allontanare il capitato dalla fossetta del semilunare e liberare lo spazio d'ingresso.
4. Successivamente, flettendo gradualmente il polso, si favorisce il riposizionamento del semilunare nella fossa lunata del radio.

Ottenuta la riduzione, confermata dal caratteristico scatto clinico e dal controllo fluoroscopico, si applica una valva gessata antibrachio-metacarpale con o senza I dito incluso e si prevede poi un monitoraggio clinico serrato dei parametri neurologici periferici, eventualmente legati alla sofferenza del mediano [36, 38].

3.5.2 Trattamento chirurgico a cielo aperto (ORIF)

Il trattamento chirurgico maggiormente utilizzato nel nostro centro prevede un accesso dorsale standard al polso, descritto nel dettaglio successivamente, nella sezione dedicata agli accessi chirurgici (Fig. 16).



Fig. 16 Approccio chirurgico dorsale longitudinale standard al polso ed esposizione del compartimento carpale mediante l'impiego di divaricatore autostatico.

Una volta completata l'esposizione capsulare, giunti al piano osseo, l'intervento si sviluppa secondo precise tappe chirurgiche [37, 14, 41]:

- **Ispezione e debridement:** si accede alle articolazioni radio-carpica e medio-carpica per valutare e quantificare il danno cartilagineo, e si eseguono abbondanti lavaggi per evacuare l'ematoma e rimuovere eventuali frammenti osteocondrali.
- **Riduzione e “joystick technique”:** sotto controllo amplioscopico, si inseriscono due fili di Kirschner, uno a livello del semilunare e uno dello scafoide. Essi saranno utilizzati come veri e propri joystick per derotare le ossa carpali e ripristinare i rapporti anatomici.
- **Fissazione interna:** si stabilizza il carpo mediante il posizionamento di fili di Kirschner da 1,2 mm diretti attraverso le articolazioni luno-piramidale, scafo-lunata e radio-lunata; quest'ultima artrodesi temporanea si esegue per prevenire la complicità della traslazione ulnare del carpo.
- **Sintesi dello scafoide:** qualora si tratti di una variante d'arco maggiore con frattura dello scafoide, si procede alla riduzione e sintesi mediante l'inserimento di una vite di Herbert o, in alternativa, tramite fili di Kirschner multipli (generalmente tre).
- **Sintesi della stiloide radiale:** può essere eseguita mediante posizionamento di fili di Kirschner o posizionamento di placche frammento specifiche per il ripristino della superficie articolare.
- **Capsulorrafia e gestione del retinacolo:** la capsula viene suturata con fili riassorbibili (3-0 o 2-0). Si procede quindi alla parziale ricostruzione del retinacolo degli estensori, mantenendo il tendine dell'estensore lungo del pollice (EPL) libero di scorrere al di fuori del suo compartimento originario (trasposizione dorsale sottocutanea), per prevenirne la rottura da attrito post-operatoria.
- **Decompressione volare:** in presenza di sintomi neurologici da sofferenza del nervo mediano o nelle lussazioni volari complete del semilunare, si prevede un secondo accesso volare mirato, finalizzato alla sezione completa del legamento trasverso del carpo e alla liberazione d'urgenza del nervo mediano.

3.5.3 Trattamento assistito per via artroscopica

La tecnica artroscopica offre il vantaggio di minimizzare il danno vascolare periostale e la rigidità capsulare post-operatoria [39, 40].

- **Setting e portali:** l'arto è posizionato nella torre di trazione con un carico longitudinale di 10-15 kg applicato tramite finger traps posizionati al II e III dito, con gomito flesso a 90° e spalla abdotta, in ischemia tissutale [40]. Si stabiliscono i portali radio-carpici standard (3-4, 4-5, 6-R). L'introduzione iniziale dell'ottica è preceduta da un lavaggio articolare tramite ago-cannula per detergere il campo dall'ematoma e garantire una adeguata visualizzazione.
- **Ispezione:** si ispezionano i legamenti intrinseci, estrinseci palmari e il complesso della fibrocartilagine triangolare (TFCC) [40, 41]. Nel trauma perilunato si evidenzia tipicamente la lesione del legamento radio-scafo-capitato a fronte della relativa integrità dei legamenti radio-lunato lungo e breve; nei casi in cui la riduzione manuale sia fallita, si reperta frequentemente l'interposizione dei legamenti capsulari palmari nello spazio luno-capitato.
- **Valutazione medio-carpica e riduzione:** attraverso i portali mediocarpici (radiale e ulnare) si introduce uno shaver per eseguire il debridement delle estremità legamentose avulse e dei detriti osteocondrali che altrimenti ostacolano la riduzione [40]. Una volta valutato il pattern di lesione, sotto controllo amplioscopico si inseriscono fili di Kirschner percutanei in corrispondenza dello scafoide, del semilunare e del piramidale: muovendoli come joystick, si procede alla riduzione delle superfici articolari scafo-lunata e luno-piramidale. Per favorire l'allineamento del semilunare e ridurre la deformità in DISI, si esegue la manovra di Linscheid flettendo il polso per centrare accuratamente il semilunare all'interno della sua fossetta articolare sul radio distale; una volta ottenuto il corretto riposizionamento, si stabilizza provvisoriamente il carpo inserendo un filo di Kirschner trans-fissato in artrodesi temporanea tra il radio e il semilunare stesso.
- **Fissazione definitiva:** ottenuta la riduzione anatomica, si inseriscono i fili di Kirschner definitivi di sintesi [39, 40]. Nelle fratture dello scafoide, la stabilità si ottiene inserendo due fili guida percutanei dal polo distale a quello prossimale senza incrociare il focolaio, visualizzando la riduzione e inserendo infine una vite

cannulata o ulteriori fili di Kirschner. Mentre, se vi è solo instabilità dello scafoide, si può aggiungere un filo di Kirschner in artrodesi con il capitato. Sul versante ulnare, l'articolazione luno-piramidale, che si presenta tipicamente con perdita d'inclinazione ulnare e traslata dorsalmente, viene ridotta tramite pressione dorsale o volare e stabilizzata percutaneamente con fili K dedicati.

3.5.4 Vie di accesso chirurgico

Accesso Dorsale Standard al Polso

Rappresenta la via d'elezione per il trattamento delle instabilità complesse, offrendo un'eccellente esposizione della filiera prossimale, della mediocarpica e dei compartimenti estensori [42].

- **Punti di repere e incisione:** l'incisione cutanea è longitudinale e lunga circa 8 cm, si posiziona sulla linea mediana del polso, esattamente a metà della distanza che intercorre tra la stiloide radiale e la stiloide ulnare; precisamente si estende per 3 cm prossimalmente al polso e per 5 cm distalmente (Fig. 17).

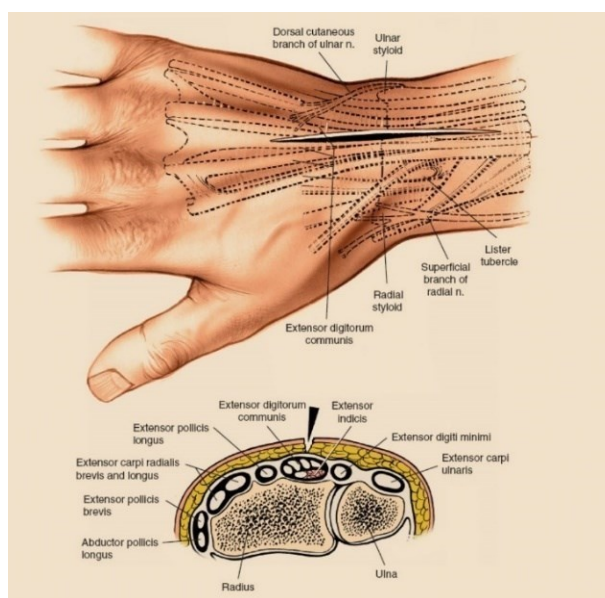
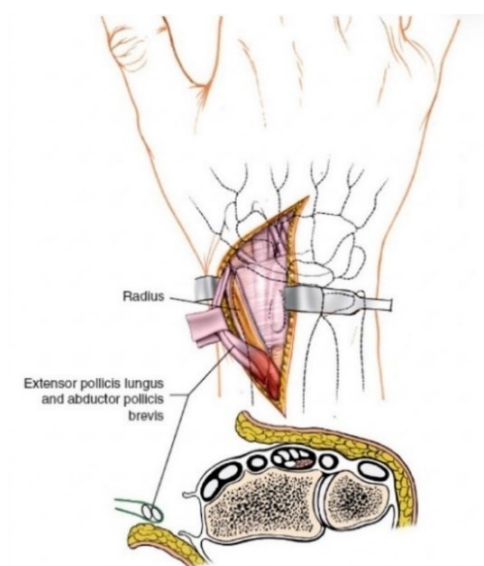


Fig. 17 Fase di incisione cutanea dell'accesso dorsale.

- **Dissezione e isolamento:** la dissezione procede attraverso il sottocute, finché non si raggiunge il retinacolo degli estensori; questo viene inciso longitudinalmente

tra il terzo compartimento (aprendo la guaina dell'Estensore Lungo del Pollice - EPL) e il quarto compartimento (estensore comune delle dita ed estensore proprio dell'indice). L'EPL viene isolato e divaricato in senso radiale, mentre i tendini del quarto compartimento vengono sollevati in blocco e ulnarizzati. Al pavimento del quarto canale si individua e si seziona termicamente il ramo terminale del nervo interosseo posteriore (PIN) a scopo antalgico profilattico (Fig. 18).



Fig, 18 Fase di dissezione e isolamento dell'EPL.

- **Capsulotomia secondo Berger-Bishop:** per esporre il piano osseo salvaguardando la vascolarizzazione capsulare dorsale (*ligament-sparing*), si disegna un lembo capsulare a base ulnare. L'incisione segue l'andamento del legamento radiocarpico dorsale e del legamento intercarpico dorsale, con un apice sul piramidale e proseguendo a tutto spessore fino alla stiloide radiale. Il lembo rettangolare così ottenuto viene sollevato e riflesso in senso radiale, esponendo completamente le faccette articolari [43].

Accesso Volare allo Scafoide

Questo accesso consente una buona esposizione dello scafoide, preservando intatto l'apporto vascolare critico di questo osso (che penetra prevalentemente dal versante dorsale) e proteggendo anche i rami del nervo radiale superficiale. Tuttavia espone al rischio di lesionare l'arteria radiale che decorre lateralmente a tale accesso [42].

- **Punti di repere e incisione:** si palpa il tubercolo dello scafoide distalmente alla piega di flessione del polso e il decorso del tendine del flessore radiale del carpo (FRC). L'incisione, curvilinea o longitudinale, è lunga circa 3-4 cm, centrata sul tubercolo dello scafoide e prolungata prossimalmente lungo il margine esterno del tendine FRC, fra esso e l'arteria radiale.
- **Dissezione e protezione vascolare:** si incide la fascia profonda, il lembo ottenuto viene divaricato in senso radiale insieme all'arteria radiale, che decorre nelle immediate vicinanze del campo e costituisce la struttura a maggior rischio di lesione iatrogena. Qualora la branca palmare superficiale dell'arteria radiale attraversi trasversalmente il campo operatorio, questa va isolata e cauterizzata (Fig. 19).

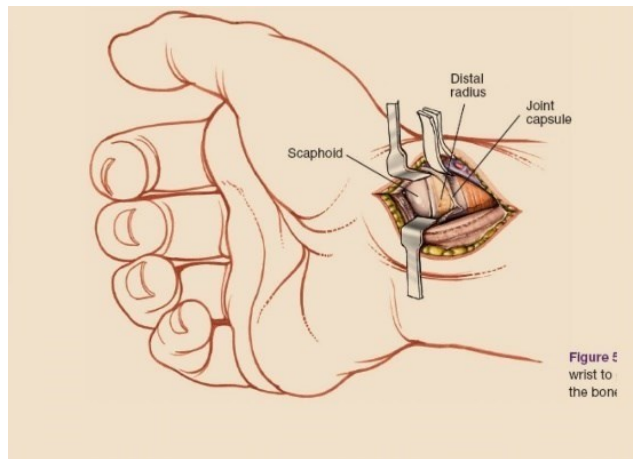


Fig. 19 Accesso volare: dissezione e protezione vascolare.

- **Esposizione articolare:** si incide il retinacolo superficiale della guaina del tendine FRC; il tendine viene mobilizzato e represso in senso ulnare, proteggendo al contempo il canale carpale situato medialmente. Il pavimento della guaina del FRC viene inciso, esponendo direttamente la capsula volare radiocarpica.
- **Capsulotomia ed esposizione ossea:** si esegue un'incisione capsulare longitudinale che espone il corpo e il polo prossimale dello scafoide fino al margine volare del radio, preservando l'integrità del complesso legamentoso che stabilizza il polo prossimale dello scafoide. Per ottenere la massima visualizzazione e l'estrusione del polo prossimale nel campo operatorio, si esegue una manovra combinata di massima estensione (dorsiflessione) e deviazione ulnare del polso.

3.6 Outcomes e Complicanze

Le complicanze conseguenti a traumi ad alta energia, quali le lussazioni e le fratture-lussazioni perilunate del carpo, possono essere distinte in complicanze primarie, ovvero correlate direttamente al meccanismo traumatico e all'entità del danno anatomopatologico iniziale, e complicanze secondarie o iatrogene, derivanti dall'insulto chirurgico e dai processi di guarigione tessutale. Sotto il profilo temporale, tali manifestazioni si articolano in quadri acuti, come ad esempio la neuropatia post-traumatica del nervo mediano, e quadri cronici o tardivi, tra i quali spicca l'artrosi radio-carpica e medio-carpica.

3.6.1 Complicanze Acute: la Neuropatia del Nervo Mediano

In ambito clinico d'urgenza, è imperativa l'identificazione precoce dei segni di sofferenza del nervo mediano. Questa complicanza è determinata dalla compressione meccanica diretta all'interno del canale carpale, causata principalmente dalla lussazione volare del semilunare negli stadi avanzati della progressione lesiva. La valutazione clinica iniziale deve comprendere un'accurata mappatura della sensibilità nel territorio di innervazione del mediano, e l'insorgenza di alterazioni parestesiche impone l'esecuzione immediata di una manovra di riduzione incruenta in urgenza, finalizzata alla decompressione del canale.

La prevalenza della neuropatia del mediano varia sensibilmente nella letteratura scientifica, attestandosi tra il 21% secondo Martinage et al. [44] e il 34% nei dati riportati da Garcon et al. [45]. Sebbene vi sia un consenso unanime sulla necessità della riduzione incruenta immediata, la scelta di eseguire un release chirurgico del tunnel carpale in acuto rimane oggetto di dibattito:

- Una corrente di pensiero (Heineman et al.) sostiene l'obbligatorietà della neurolisi d'urgenza qualora la sintomatologia neurologica persista dopo i tentativi di riduzione incruenta [46].
- Al contrario, Garcon et al. sconsigliano la procedura sistematica in acuto, anche in presenza di sintomi se in assenza di deficit motori franchi, al fine di non sommare un ulteriore insulto chirurgico che potrebbe esacerbare i processi fibrotici cicatriziali post-operatori, compromettendo il recupero funzionale a lungo termine [45].

Tuttavia, come evidenziato da Jagiella-Lodise et al., la decompressione chirurgica immediata diviene mandatoria e non differibile in presenza di dolore incoercibile e refrattario, di una riduzione pari o superiore a due punti nei test di discriminazione tattile dei due punti (*Two-Point Discrimination Test*), o comparsa di paralisi dell'opposizione del pollice per deficit del ramo motorio ricorrente nel nervo mediano, che innerva i tre muscoli dell'eminanza tenar: il muscolo abducente breve del pollice, il muscolo opponente del pollice e il capo superficiale del muscolo flessore breve del pollice [36].

3.6.2 Complicanze Croniche: La Degenerazione Artrosica Post-Traumatica

L'artrosi secondaria radio-carpica e medio-carpica costituisce la complicanza tardiva di più frequente riscontro a lungo termine, e rispecchia il severo danno cartilagineo primitivo. Herzberg et al. hanno evidenziato la comparsa di segni radiografici di artrosi nel 50% dei pazienti a 6 anni dal trauma, percentuale che raggiunge il 100% dei casi nei follow-up a 8 anni [47]. Studi a più lungo termine suggeriscono una progressione biologica parzialmente più lenta: Forli et al. riportano un'incidenza di artrosi del 67% a 13 anni di distanza [48], mentre Garcon et al. registrano il 79% di alterazioni degenerative a 20 anni dal trattamento [45].

Nonostante l'elevata incidenza radiografica, vi è una netta concordanza in letteratura nel rilevare come, nella maggior parte dei casi, la degenerazione artrosica presenti una marcata dissociazione clinico-radiografica, non inficiando in modo drastico gli outcomes clinici soggettivi e la ripresa funzionale quotidiana del paziente a distanza di tempo.

3.6.3 Complicanze Post-Chirurgiche e Fallimenti della Sintesi

Secondo la revisione sistematica di Heineman et al., le complicanze strettamente legate al fallimento terapeutico post-chirurgico interessano circa il 15% della popolazione esaminata [46]. Esse sono rappresentate principalmente dalla perdita della riduzione anatomica e dalla pseudoartrosi dello scafoide, la cui incidenza oscilla tra il 5% e il 13% nelle casistiche storiche di Oh et al. e Kim et al. [39, 49].

Una quota minoritaria, intorno al 2% degli eventi avversi complessivi (Liechti et al.), è costituita da [50]:

- Infezioni del sito chirurgico
- Mobilizzazione dei mezzi di sintesi (fil di Kirschner o viti da compressione)

- Sviluppo di Sindrome Dolorosa Regionale Complessa (o algodistrofia).

3.6.4 Complicanze Specifiche della Procedura Artroscopica

L'avvento delle tecniche mini-invasive ha introdotto complicanze specifiche, dettagliatamente analizzate da Ahsan e Yao [51]. Tali lesioni includono infezioni legate alle vie d'accesso, lesioni iatrogene delle strutture vascolo-nervose limitrofe, come ad esempio il ramo sensitivo dorsale del nervo radiale, il nervo ulnare e l'arteria radiale, nonché danni da sfregamento o sezione a carico dei tendini estensori, quindi tendinopatie iatrogene e lo sviluppo tardivo di cisti gangliari.

3.6.5 Necrosi Avascolare del Semilunare

Infine, sebbene si configuri un'evenienza clinica estremamente rara, diversi case report descrivono l'insorgenza della necrosi avascolare del semilunare (morbo di Kienböck post-traumatico). L'eziopatogenesi di tale quadro rimane controversa: non è tuttora chiaro se l'insulto ischemico sia l'esito della completa devascularizzazione capsulare indotta dall'energia del trauma primitivo, o se derivi da un danno iatrogeno microvascolare verificatosi durante le manovre chirurgiche [52].

4. SCOPO DELLO STUDIO

Le lussazioni e le fratture-lussazioni perilunate del carpo costituiscono lesioni rare, complesse e ad alta energia, gravate da un elevato tasso di complicanze a lungo termine e, non di rado, da ritardi diagnostici in regime di urgenza. Data la limitata disponibilità in letteratura di studi focalizzati sul monitoraggio seriale del recupero clinico, il presente studio sperimentale si è posto l'obiettivo di analizzare in modo dettagliato e retrospettivo una coorte di 18 pazienti trattati chirurgicamente dal 2022 al 2025 presso la S.O.D. di Chirurgia Ricostruttiva e Chirurgia della Mano dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Ospedali Riuniti di Ancona. Tutto questo in un'ottica di ottimizzazione di quello che è la gestione terapeutica, l'inquadramento d'urgenza e l'outcome funzionale di queste gravi e invalidanti lesioni del carpo.

Nello specifico, l'indagine si è sviluppata attorno a tre quesiti clinici e obiettivi primari:

- ***Valutazione dell'evoluzione temporale degli outcomes (Analisi Longitudinale):*** monitorare l'andamento del recupero del Range of Motion (ROM) articolare a scadenze fisse (3 mesi, 6 mesi e 1 anno) e l'evoluzione degli score funzionali clinici (Modified Mayo Wrist Score) e soggettivi (PRWE) tra il controllo intermedio e il follow-up finale. Questo obiettivo mira a verificare l'eventuale presenza di un guadagno cinematico e funzionale tardivo, ovvero che prosegua oltre i primi sei mesi post-operatori.
- ***Identificazione dei fattori prognostici e delle complicanze:*** esplorare il ruolo del timing chirurgico come determinante degli outcomes finali, e quantificare l'incidenza delle procedure di reintervento secondarie non programmate all'interno della coorte.
- ***Impatto del pattern di lesione perilunata sugli esiti (Analisi Comparativa):*** stratificare la casistica in base al pattern lesionale primitivo - lussazioni perilunate pure, varianti trans-scafo-perilunate e varianti trans-stilo-perilunate - per determinare se l'interessamento scheletrico (traumi dell'Arco Maggiore) o la dislocazione puramente capsulo-legamentosa (traumi dell'Arco Minore) condizionino in modo statisticamente significativo il recupero della forza di presa, del ROM e gli score clinici al follow-up finale.

5. MATERIALI E METODI

5.1 Criteri di Selezione della Coorte

In questo studio clinico osservazionale e retrospettivo sono stati coinvolti tutti i soggetti adulti trattati chirurgicamente a seguito di una diagnosi di lussazione o frattura-lussazione perilunata del carpo. Gli interventi sono stati eseguiti presso la S.O.D. di Chirurgia Ricostruttiva e Chirurgia della Mano dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Ospedali Riuniti di Ancona, in un arco temporale compreso tra giugno 2022 e aprile 2025.

I criteri di inclusione stabiliti per l'arruolamento nella casistica sono stati i seguenti:

- Età maggiore o uguale a 18 anni;
- Diagnosi clinico-radiografica di lussazione perilunata pura o frattura-lussazione del carpo, sia inquadrata in regime di acuzie che giunte ad osservazione tardiva (croniche);
- Trattamento mediante riduzione (incruenta o cruenta) e successiva stabilizzazione chirurgica;
- Disponibilità di un follow-up clinico minimo di almeno 12 mesi dall'intervento.

Al contrario, sono stati applicati i seguenti criteri di esclusione:

- Presenza di lesioni associate maggiori a carico del sistema nervoso centrale o del sistema nervoso periferico (escluse le neuropatie compressive acute del nervo mediano secondarie alla lussazione stessa) al momento del trauma;
- Anamnesi positiva per precedenti interventi chirurgici o patologie degenerative croniche a carico del polso traumatizzato;
- Incompletezza dei registri clinici o follow-up inadeguato per la raccolta dei parametri previsti dal protocollo.

5.2 Raccolta Dati

5.2.1 Variabili Demografiche e Anamnestiche

Per ciascun paziente incluso nella coorte sono state raccolte le seguenti informazioni demografiche e anamnestiche:

- Età al momento del trauma;
- Sesso;
- Lateralità della lesione;
- Mano dominante;
- Meccanismo lesivo, ricodificato in maniera descrittiva in:
 - traumi ad alta energia (incidenti stradali, motociclistici, precipitazioni, traumi schiacciamento/intrappolamento causati da macchinari industriali);
 - altro/traumi a bassa energia (cadute accidentali o traumi minori, come cadute dalle scale o in bicicletta);
- Timing chirurgico, calcolato come il tempo, espresso in ore, intercorso tra l'evento traumatico primitivo e l'esecuzione della manovra di riduzione e stabilizzazione definitiva, cruenta o incruenta.

5.2.2 Dati radiografici

La valutazione radiografica si è basata sull'analisi delle proiezioni radiografiche standard antero-posteriore (AP) e laterale (LL) del polso, in alcuni casi integrate dall'esecuzione di un'indagine TC con ricostruzione 3D in fase pre-operatoria per un accurato planning chirurgico.

Sulla base di tale documentazione sono stati raccolti i seguenti parametri:

- Inquadramento della lesione secondo il sistema di classificazione stadiale di Mayfield;
- Mappatura del pattern lesionale (lussazione perilunata pura, frattura trans-scafo-perilunata, frattura trans-stilo-perilunata);

- Pattern osseo, ovvero eventuale presenza e livello di frattura nei casi di coinvolgimento dello scafoide (corpo, polo prossimale o polo distale) o frattura della stiloide radiale;

5.2.3 Dati Chirurgici

Attraverso l'analisi dei registri operatori e delle cartelle cliniche sono state raccolte le informazioni relative alla gestione terapeutica e chirurgica dei pazienti:

- Tipologia di approccio chirurgico (a cielo aperto o assistito per via artroscopica);
- Metodica di fissazione interna e sintesi utilizzata (fil di Kirschner, viti da compressione o placche);
- Esecuzione della procedura di release d'urgenza del nervo mediano;
- Applicazione di un pinning radio-lunato temporaneo di stabilizzazione;
- Classificazione della lesione associata dei legamenti scafo-lunato e lunopiramidale (secondo i sistemi di Andersson-Garcia-Elias e Viegas rispettivamente).

Inoltre, sono stati documentati i parametri relativi al decorso post-operatorio:

- La durata complessiva (espressa in settimane) dell'immobilizzazione in valva gessata prima dell'inizio del protocollo fisioterapico;
- Le tempistiche di rimozione dei fili di Kirschner;
- Il tasso di reinterventi non programmati.

5.2.4 Valutazione Clinica e Funzionale Post-operatoria

Nel post-operatorio sono stati previsti controlli a 2 settimane, 4-6 settimane, 3 mesi, 6 mesi e follow-up finale a 1 anno dall'intervento, considerando nel loro contesto una valutazione sia oggettiva che soggettiva, attraverso:

- Range of Motion (ROM): La mobilità articolare del polso è stata misurata in modo standardizzato mediante l'ausilio di un goniometro manuale (Fig. 20) in corrispondenza dei controlli a 3 mesi, 6 mesi e 1 anno dall'intervento. Sono stati

registrati i gradi di movimento in flessione palmare, estensione (o dorsiflessione), supinazione e pronazione.



Fig. 20 Un goniometro è stato utilizzato per la misurazione del Range Of Motion articolare.

- **Forza di Presa (Grip Strength):** Al follow-up finale a 1 anno, la forza di presa bilaterale è stata quantificata mediante il test con dinamometro di Jamar (Fig. 21), utilizzando un dinamometro idraulico standardizzato. I valori, espressi in chilogrammi (kg), sono stati utilizzati per calcolare il Jamar ratio (rapporto tra la forza dell'arto operato e quella dell'arto controlaterale sano) e il conseguente deficit percentuale di forza residua.



Fig. 21 Jamar test per la misurazione della forza da presa della mano.

- Patient-Reported Outcomes (PRWE Score): La disabilità e il dolore percepiti soggettivamente dal paziente sono stati monitorati a 6 mesi e al follow-up finale tramite il questionario Patient-Rated Wrist Evaluation. Lo score è composto da 15 domande strutturate in due sottosezioni:

- dolore, il cui punteggio finale può andare da 0 a 50, ed è calcolato sommando i punteggi ottenuti ad ognuno dei 5 quesiti che la compongono;

- funzione, consta invece di 10 item e il punteggio finale è calcolato sommando i punteggi ottenuti nei singoli items e dividendo quanto così ottenuto per due.

Il punteggio totale si ottiene sommando gli score delle due sottosezioni e varia da 0 a 100, dove valori inferiori riflettono un migliore outcome soggettivo, ovvero minore dolore e limitazione nelle attività quotidiane (Fig. 22).

- Clinical Outcomes (Modified Mayo Wrist Score): Somministrato anch'esso a 6 mesi e al termine del follow-up, questo score clinico valuta l'intensità del dolore, la capacità lavorativa e il ritorno alle attività quotidiane, l'arco di movimento (ROM) complessivo e la forza di presa rispetto al lato controlaterale (Fig. 23). Il punteggio finale definisce l'outcome secondo classi di merito (eccellente, buono, discreto, scarso).

Name: _____ Date: _____

PATIENT RATED WRIST EVALUATION

The questions below will help us understand how much difficulty you have had with your wrist in the past week. You will be describing your **average** wrist symptoms **over the past week** on a scale of 0-10. Please provide an answer for **ALL** questions. If you did not perform an activity, please **ESTIMATE** the pain or difficulty you would expect. If you have **never** performed the activity, you may leave it blank.

1. PAIN											
Rate the average amount of pain in your wrist over the past week by circling the number that best describes your pain on a scale from 0-10. A zero (0) means that you did not have any pain and a ten (10) means that you had the worst pain you have ever experienced or that you could not do the activity because of pain.											
RATE YOUR PAIN: Sample Scale ↔ No Pain 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Worst Ever											
At rest	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
When doing a task with a repeated wrist movement	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
When lifting a heavy object	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
When it is at its worst	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
How often do you have pain?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Never										Always
2. FUNCTION											
A. SPECIFIC ACTIVITIES Rate the amount of difficulty you experienced performing each of the items listed below - over the past week, by circling the number that describes your difficulty on a scale of 0-10. A zero (0) means you did not experience any difficulty and a ten (10) means it was so difficult you were unable to do it at all. Sample scale ↔ No Difficulty 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Unable To Do											
Turn a door knob using my affected hand	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cut meat using a knife in my affected hand	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fasten buttons on my shirt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Use my affected hand to push up from a chair	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carry a 10lb object in my affected hand	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Use bathroom tissue with my affected hand	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B. USUAL ACTIVITIES Rate the amount of difficulty you experienced performing your usual activities in each of the areas listed below, over the past week, by circling the number that best describes your difficulty on a scale of 0-10. By "usual activities", we mean the activities you performed before you started having a problem with your wrist. A zero (0) means that you did not experience any difficulty and a ten (10) means it was so difficult you were unable to do any of your usual activities.											
Personal care activities (dressing, washing)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Household work (cleaning, maintenance)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Work (your job or usual everyday work)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Recreational activities	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fig. 22 Questionario PRWE: la sottosezione del dolore consta di 5 quesiti, mentre quella della funzione di 10 quesiti. Il punteggio finale è calcolato come: Punteggio Dolore + (Punteggio Funzione/2).

Category	Score	Findings
Pain (25 points)	25	No pain
	20	Mild pain with vigorous activities
	20	Pain only with weather changes
	15	Moderate pain with vigorous activities
	10	Mild pain with activities of daily living
	5	Moderate pain with activities of daily living
Satisfaction (25 points)	0	Pain at rest
	25	Very satisfied
	20	Moderately satisfied
	10	No satisfied, but working
	0	No satisfied, unable to work
Range of motion (25 points)	25	100% percentage of normal
	15	75% - 99% percentage of normal
	10	50% - 74% percentage of normal
	5	25% - 49% percentage of normal
	0	0% - 24% percentage of normal
Grip strength (25 points)	25	100% percentage of normal
	15	75% - 99% percentage of normal
	10	50% - 74% percentage of normal
	5	25% - 49% percentage of normal
	0	0% - 24% percentage of normal
Final result (total points)	90 - 100	Excellent
	80 - 89	Good
	65 - 79	Fair
	<65	Poor

Fig. 23 Modified Mayo Wrist Score. Il punteggio finale definisce poi l'appartenenza alla relativa classe di merito: eccellente se >90; Buono 80-90; Discreto 79-65; Scarso se < 65.

5.3 Analisi Statistica

L'analisi statistica è stata condotta applicando test adatti alla natura delle variabili e alla numerosità campionaria della coorte in studio ($n=18$). I dati sono risultati non normalmente distribuiti.

Le variabili continue sono state descritte come medie e mediane, completate dall'intervallo interquartile (IQR) e dal range minimo-massimo, considerata la presenza di distribuzioni asimmetriche per alcune variabili, in particolare per il timing tra lesione e intervento chirurgico. Le variabili categoriali sono state espresse come frequenze assolute e percentuali.

Per l'analisi delle misure ripetute ottenute sullo stesso paziente sono stati impiegati test non parametrici, in particolare:

- Il Wilcoxon signed-rank test è stato utilizzato per confrontare i punteggi degli score clinico-funzionali (*Mayo Wrist Score* e *PRWE*) tra il follow-up a 6 mesi e il follow-up finale, e anche per confrontare la forza di presa (*Jamar Test*) del lato operato rispetto al controlaterale sano.
- Il Friedman test è stato impiegato per valutare l'evoluzione temporale del ROM misurato nei tre intervalli temporali definiti (3 mesi, 6 mesi, 1 anno). I successivi confronti *post-hoc* a coppie sono stati eseguiti mediante Wilcoxon test, applicando la correzione di Holm per i p-value al fine di neutralizzare il rischio di errore alfa legato alle comparazioni multiple.

I confronti esplorativi tra i tre differenti pattern lesionali (perilunate pure, varianti trans-scafoidee e varianti trans-stiloidee) sono stati condotti mediante il Kruskal-Wallis test per variabili indipendenti.

L'associazione tra il timing lesione-intervento e gli outcome funzionali finali è stata valutata mediante il coefficiente di correlazione per ranghi di Spearman (ρ).

Per tutti i test eseguiti, la significatività statistica è stata fissata per valori di $p < 0.05$.

6. RISULTATI

6.1 Analisi Demografica della Coorte

La popolazione in esame è composta da 18 pazienti, tutti di sesso maschile (100%). Mentre sotto il profilo anagrafico, come evidenziato nella Fig. 24, si ha una popolazione prevalentemente giovane-adulta, ovvero nel pieno dell'età lavorativa e produttiva: l'età media al momento del trauma si attesta infatti a 39.3 anni, con un valore mediano di 38.5 anni (intervallo interquartile, IQR: 26.75 – 49.25) e un range compreso tra un minimo di 22 e un massimo di 59 anni.

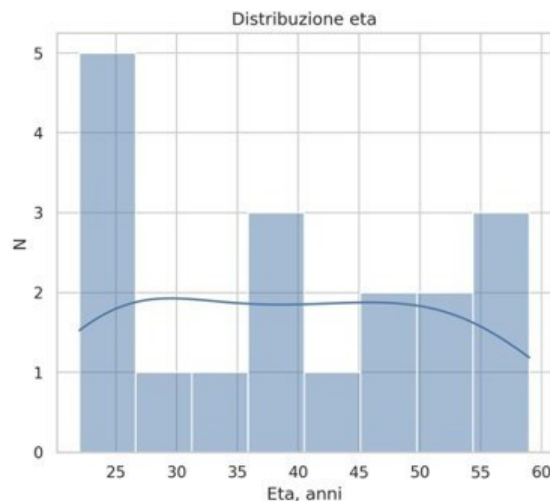


Fig. 24 Rappresentazione grafica della composizione anagrafica del campione esaminato (n = 18). I valori mostrano la concentrazione della lesione nella fascia di età giovane-adulta.

Per quanto concerne la distribuzione della lateralità e l'arto coinvolto, l'analisi ha evidenziato una leggera prevalenza del polso sinistro, interessato in 10 casi su 18 (55.6%), rispetto al polso destro, colpito in 8 pazienti (44.4%). L'indagine sull'arto dominante ha mostrato che la stragrande maggioranza dei soggetti presentava una dominanza destra (16 pazienti, 88.9%), a fronte di soli 2 soggetti con dominanza sinistra (11.1%). Incrociando questi due dati, emerge che il trauma ha interessato il lato dominante del paziente in 8 casi su 18 complessivi, pari al 44.4% della casistica totale.

6.2 Dinamica del Trauma e Timing Chirurgico

In accordo con la letteratura internazionale, la quasi totalità delle lesioni perilunate osservate nella presente coorte è derivata da traumatismi ad alta energia cinetica, i quali hanno rappresentato l'83.3% dei casi (15 pazienti). Tra le dinamiche registrate in questa categoria spiccano gli incidenti stradali, i sinistri motociclistici, le precipitazioni dall'alto e i gravi infortuni da schiacciamento correlati all'utilizzo di macchinari industriali pesanti (es. traumi da tornio). Nei restanti 3 casi (16.7%) la lesione è stata descritta come secondaria a traumi a minore energia, tra cui cadute accidentali dalle scale e incidenti ciclistici (Fig. 25).

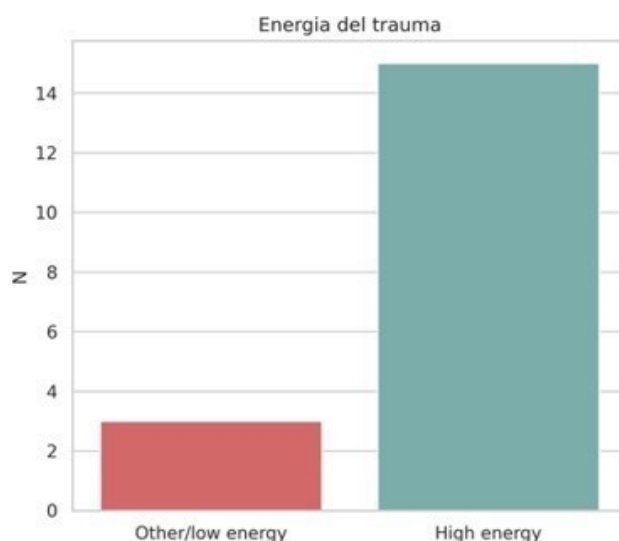


Fig. 25 Grafico a barre comparativo relativo alla distribuzione dell'energia cinetica associata all'evento traumatico originario.

Il timing chirurgico, calcolato come il tempo intercorso tra l'evento traumatico e la stabilizzazione definitiva, ha mostrato una distribuzione fortemente asimmetrica nella nostra casistica, condizionata dalla presenza di alcuni casi, nello specifico le lussazioni perilunate, giunti alla nostra osservazione tardivamente, e per questo la mediana è molto più rappresentativa della media. Il valore mediano si attesta a 21 ore, con un intervallo interquartile (IQR) compreso tra 9 e 49.5 ore e un range estremamente ampio che si estende da un minimo di 6 ore fino a un massimo di 520 ore. La maggior parte dei pazienti è stata dunque trattata precocemente, ma esiste una coda di casi delayed, fino a 520 ore.

Inoltre, il confronto tra lussazioni pure e fratture-lussazione perilunate ha evidenziato una differenza statisticamente significativa ($p=0.0165$) in termini di timing lesion-operation, ovvero di tempestività di accesso in sala operatoria: i pazienti con dislocazione pura presentano un timing mediano di 277 ore, un'attesa mediana ben superiore rispetto a quella di appena 10 ore riscontrata nei pazienti con frattura-lussazione.

6.3 Pattern Lesionali

Sotto il profilo anatomico-patologico, la casistica è stata stratificata in tre principali pattern lesionali, evidenziando una netta predominanza delle varianti frattura-lussazione rispetto alle lussazioni pure (Fig. 26 e 27):

- **Frattura-lussazione trans-scafo-perilunata (*trans-scaphoperilunate*):** costituisce il gruppo più numeroso della coorte, interessando 10 pazienti su 18 (55.6%);
- **Frattura-lussazione trans-stilo-perilunata (*trans-styloperilunate*):** riscontrata in 4 pazienti (22.2%);
- **Lussazione perilunata pura:** presente nei restanti 4 pazienti (22.2%).

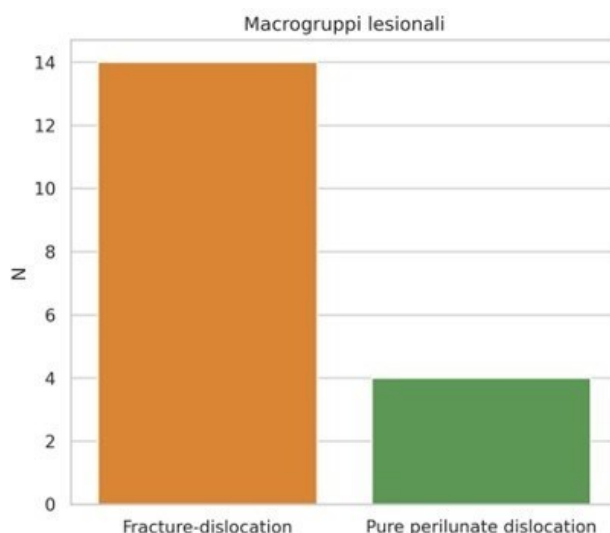


Fig. 26 Grafico a barre relativo alla ripartizione del campione in macro-gruppi lesionali, evidenziando la prevalenza delle varianti frattura-lussazione (Arco Maggiore) rispetto alle lussazioni perilunate pure (Arco Minore).

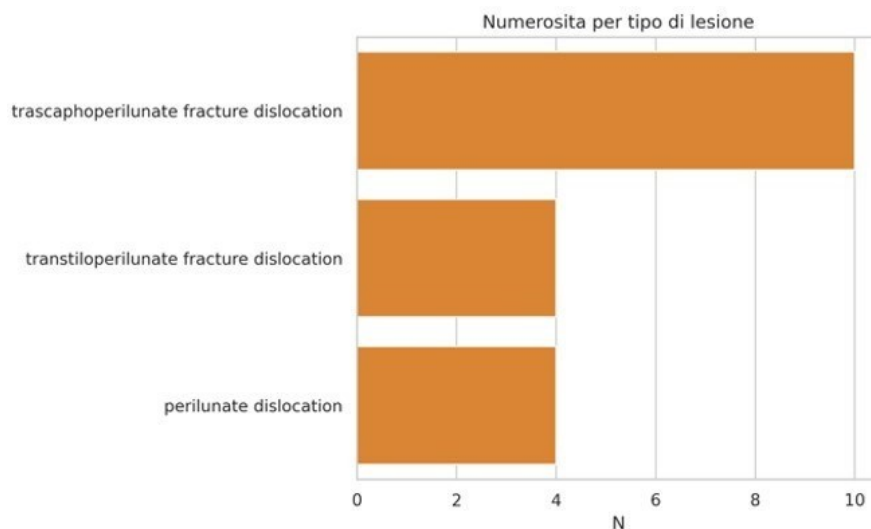


Fig. 27 Distribuzione della casistica in base alla tipologia di lesione perilunata.

Per quanto riguarda il pattern osseo, nei 10 casi in cui vi è stato interessamento dello scafoide (variante trans-scafoidea), l'analisi del livello di frattura ha mostrato che la localizzazione più frequente è quella in corrispondenza del corpo (waist), riscontrata in 6 pazienti (33.3% della coorte totale), mentre il polo prossimale è stato invece coinvolto in 4 casi (22.2%), infine in 5 casi (27.8%) non si sono riscontrate fratture scafoidee associate. Le fratture della stiloide radiale, isolate o associate, hanno interessato 4 pazienti (16.7%).

In ambito di applicazione del sistema di classificazione di Mayfield, la casistica è risultata assolutamente dominata dallo stadio III, riscontrato in ben 15 pazienti (83.3%). In 2 casi (11.1%) la lesione è giunta allo stadio IV di Mayfield, e un solo paziente (5.6%) ha presentato un quadro inquadrabile nello stadio II.

Dal punto di vista della valutazione delle lesioni legamentose associate, l'analisi della tipologia di lesione del legamento scafo-lunato è stata effettuata applicando la classificazione di Andersson-Garcia-Elias, ed ha evidenziato l'assenza di una lesione del legamento scafo-lunato in 8 pazienti (44.4%), mentre lo Stage 2 è stato riscontrato in 4 pazienti (22.2%), lo Stage 1 e lo Stage 4 in 2 pazienti ciascuno (11.1%), e lo Stage 3 in un solo caso, così come lo Stage IV sec. EWAS (5.6%).

Per il legamento luno piramidle, applicando la classificazione di Viegas, solamente un paziente (5.6%) non presentava alcuna lesione associata, e in particolare il quadro di gran lunga più rappresentato è stato lo Stage 2, rilevato in 12 pazienti su 18 (66.7%), seguito dallo Stage 3 in 3 pazienti (16.7%) e dallo Stage 1 in 2 soggetti (11.1%).

6.4 Dati Chirurgici

L'analisi delle strategie terapeutiche ha evidenziato un approccio strategico fortemente orientato verso la chirurgia a cielo aperto. Nella quasi totalità della casistica (17 pazienti su 18, pari al 94.4%), il trattamento è consistito in una riduzione e fissazione interna eseguita tramite approccio open tradizionale, un solo paziente (5.6%) è stato trattato mediante tecnica assistita per via artroscopica.

Per quanto riguarda il tipo di ORIF, ovvero i mezzi di sintesi ossea utilizzati, l'analisi ha mostrato una distribuzione equa tra l'uso esclusivo di fili di Kirschner temporanei (wire) e l'utilizzo di viti da compressione isolate (screw), riscontrati rispettivamente in 6 pazienti ciascuno (33.3% per sottogruppo). L'associazione di viti e fili di Kirschner è stata necessaria in 4 casi (22.2%). In un singolo paziente (5.6%) si è reso indispensabile l'impiego di una placca per la sintesi specifica della stiloide radiale (Fig. 28), mentre in un solo caso (5.6%) non è stata eseguita alcuna fissazione interna rigida.

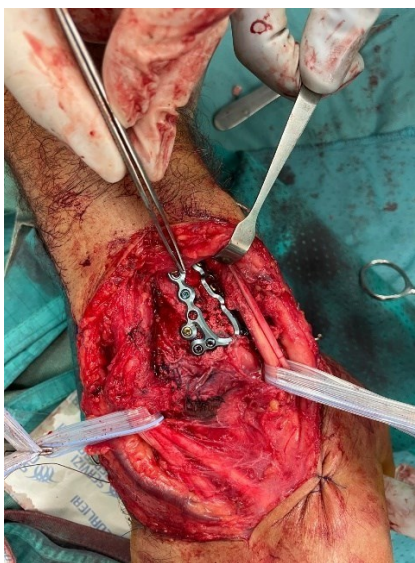


Fig. 28 Fase intraoperatoria di sintesi con placca e viti nell'unico paziente della coorte che ha richiesto questo specifico approccio di stabilizzazione strutturale interna.

Infine, tra le procedure chirurgiche associate, l'applicazione di un pinning radio-lunato è stata eseguita in 10 pazienti su 18 (55.6%), mentre la decompressione chirurgica d'urgenza del nervo mediano mediante sezione del legamento trasverso del carpo è stata eseguita in 8 pazienti su 18 (44.4%).

6.5 Outcomes Clinici e Funzionali

6.5.1 Analisi Longitudinale del Range of Motion (ROM)

L'applicazione del test di Friedman per misure ripetute ha evidenziato, in maniera statisticamente robusta, un miglioramento significativo di tutti e quattro i movimenti esaminati ($p < 0.0001$). In particolare:

- **Flessione:** passa da una mediana di 30° a 3 mesi, a 37.5° a 6 mesi, sino a 47.5° a 1 anno.
- **Estensione:** evolve da una mediana iniziale di 30° a 3 mesi, a 45.0° a 6 mesi, stabilizzandosi su una mediana finale di 60° a 1 anno.
- **Supinazione:** progredisce da una mediana di 50° a 3 mesi, a 65° a 6 mesi, fino a toccare una mediana di 77.5° a 1 anno.
- **Pronazione:** passa da una mediana di 57.5° a 3 mesi, a 70° a 6 mesi, sino a una mediana finale di 80° a 1 anno.



Fig. 29 Esame clinico della prono-supinazione a un anno dal trauma. Il recupero cinematico globale della coorte si è attestato su livelli eccellenti, garantendo il ritorno alle normali attività quotidiane.

Ciò conferma che il recupero del ROM non si esaurisce nei primi sei mesi post-operatori, ma prosegue in modo continuo e progressivo durante l'intero primo anno (Fig. 29).

L'analisi condotta tramite i test post-hoc di Wilcoxon e con correzione di Holm ha confermato questo trend: infatti tutti i controlli post-hoc restano significativi anche dopo

correzione di Holm (p corretto < 0.003) il che significa che il miglioramento è presente da 3 a 6 mesi e da 6 mesi a un anno, e naturalmente da 3 mesi a un anno (Fig. 30 e 31)

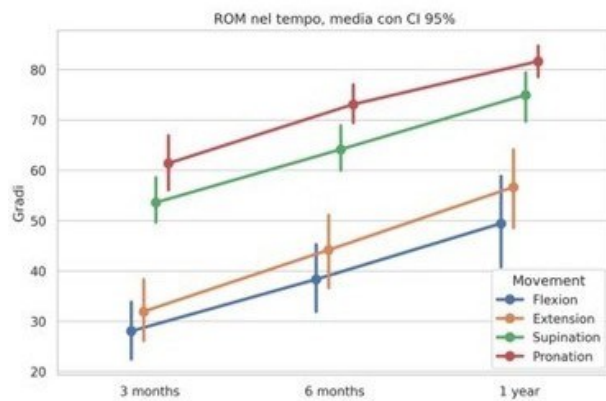


Fig. 30 Andamento del recupero medio del ROM nel tempo.

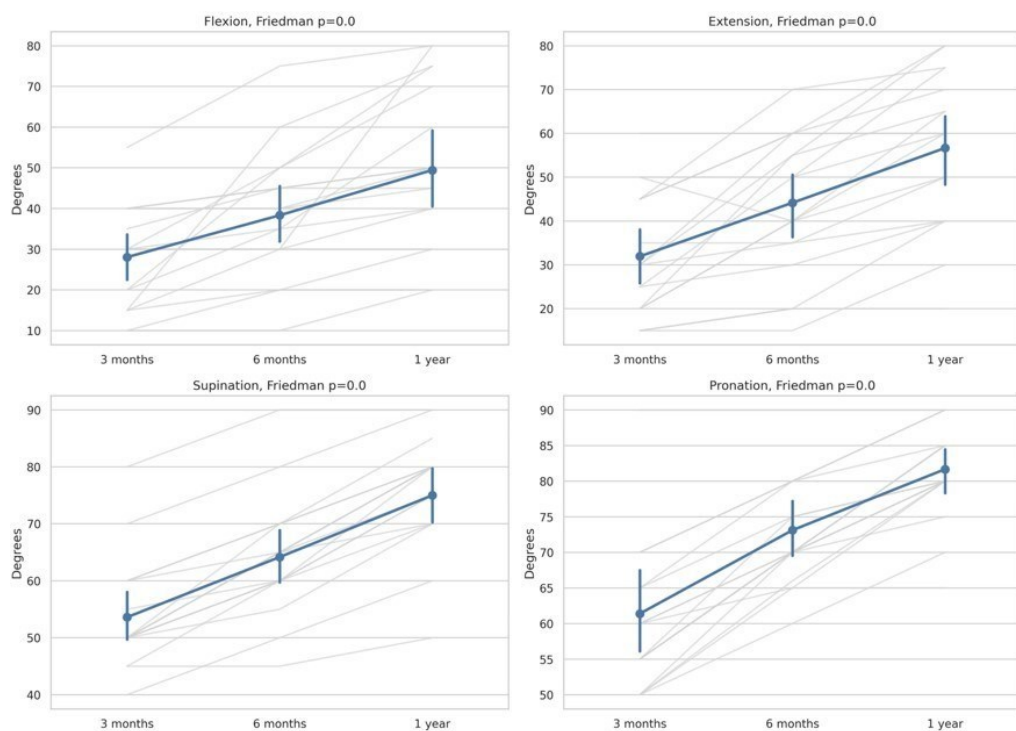


Fig. 31 ROM longitudinale: mostra flessione, estensione, supinazione e pronazione a 3 mesi, 6 mesi e 1 anno, con traiettorie individuali di recupero (linee grigie), mentre la linea blu evidenzia il trend medio con il relativo intervallo di confidenza.

6.5.2 Analisi della Forza di Presa (Jamar Test)

La forza di presa è stata quantificata mediante test di Jamar al follow-up a 1 anno e confrontata con l'arto controlaterale sano. I risultati per l'intera coorte hanno evidenziato una forza mediana del lato operato di 40.0 kg rispetto ai 50.0 kg del lato sano, traducendosi in un Jamar Ratio mediano di 0.79 e in un deficit percentuale di forza residua del 21.11% (Fig. 32).

Il test di Wilcoxon ha confermato che la forza del lato operato rimane significativamente inferiore rispetto al controlaterale ($p = 0.0004$).

Questo riscontro è clinicamente rilevante: a differenza degli altri parametri clinico-funzionali analizzati (quali il Range of Motion, il PRWE e il Mayo Wrist Score), che mostrano un recupero significativo, la forza di presa richiede tempi di recupero decisamente più lunghi, non riuscendo a raggiungere una perfetta simmetria bilaterale entro il primo anno dal trattamento chirurgico.

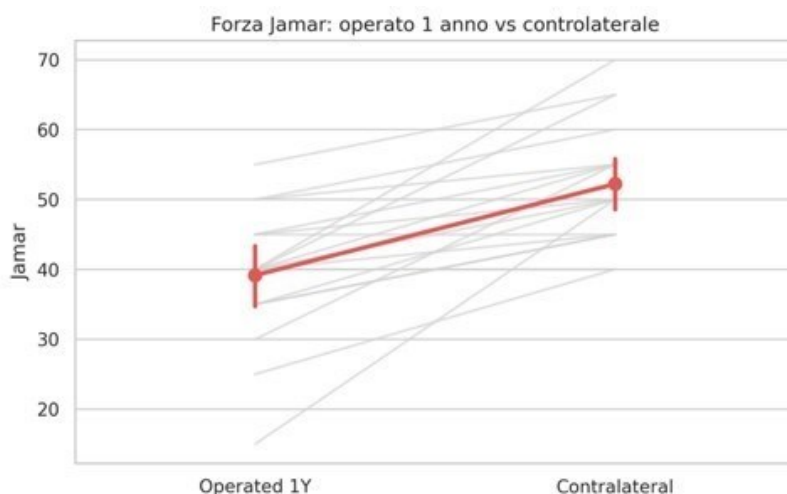


Fig. 32 Rappresentazione grafica delle traiettorie individuali e della tendenza media relativa alla forza di prensione della coorte al follow-up finale.

6.5.3 Valutazione Appaiata degli Score Funzionali (Mayo e PRWE)

Il confronto appaiato tramite il Wilcoxon signed-rank test ha documentato un progresso clinico evidente su entrambi i sistemi di scoring tra i 6 mesi e il follow-up finale (Fig. 33).

Il Modified Mayo Wrist Score ha registrato un cambiamento mediano netto di +15.0 punti, evolvendo da un valore mediano intermedio di 70 (risultato discreto) a un valore mediano finale di 80 (risultato buono), con massima significatività ($p = 0.0004$) e un effect size estremamente elevato ($r = 0.840$): quindi non è soltanto un risultato statisticamente significativo ma anche quantitativamente importante.

Lo score soggettivo PRWE ha mostrato un miglioramento ancor più netto, registrando una riduzione mediana di -13.0 punti e passando da un valore mediano a 6 mesi di 25.75 a uno mediano finale di soli 10.5 punti ($p = 0.0002$, effect size $r = 0.878$).

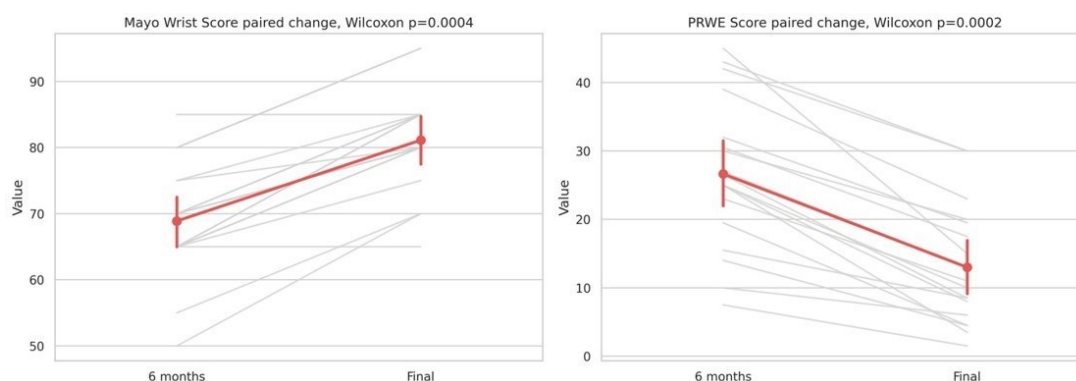


Fig. 33 Mayo e PRWE appaiati: mostra i cambiamenti individuali da 6 mesi al follow-up finale, con line media/CI.

6.5.4 Timing Lesione-Intervento e Outcome Funzionali Finali

L'analisi di correlazione di Spearman (ρ) ha rivelato una correlazione positiva significativa tra il timing lesione-intervento e il PRWE finale ($\rho = 0.578$, $p = 0.0120$), dimostrando che un intervento più tardivo si associa a maggior dolore e disabilità

percepiti dal paziente. Al contrario, non è emersa alcuna correlazione significativa con il Mayo Score finale ($p = 0.085$, $p = 0.7372$). Questo suggerisce che il PRWE, essendo un outcome soggettivo, possa essere più sensibile agli effetti negativi del ritardo chirurgico rispetto al Mayo Wrist Score (Fig. 34).

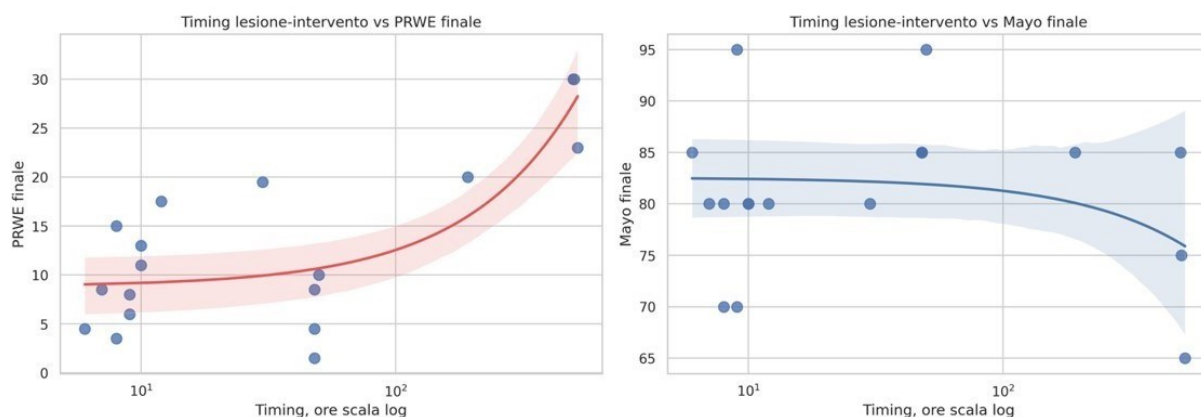


Fig 34. Rappresentazione grafica della distribuzione dei punteggi funzionali finali (PRWE Score e Modified Mayo Wrist Score) in relazione al timing chirurgico.

6.5.5 Reinterventi

Infine, l'analisi delle complicanze a lungo termine ha evidenziato un tasso di reintervento complessivo del 22.2% (4 pazienti su 18), legato a procedure secondarie non programmate quali rimozione dei mezzi di sintesi, tenolisi o neurolisi tardive del nervo mediano, senza variazioni significative nella distribuzione tra i diversi pattern lesionali ($p = 0.5242$).

6.6 Analisi Comparativa e Stratificazione in base al Pattern Lesionale

Al fine di adempiere a uno degli obiettivi primari del presente studio, la coorte è stata stratificata in base al pattern lesionale primario - lussazione pura ($n = 4$), variante trans-scafoidea ($n = 10$) o variante trans-stiloidea ($n = 4$) - per verificare se queste condizioni in modo statisticamente significativo gli outcomes clinici e funzionali a lungo termine.

6.6.1 Analisi Comparativa del Recupero del ROM

In generale, il pattern di recupero del Range Of Motion è abbastanza simile tra i tre gruppi. L'applicazione del test di Kruskal-Wallis sui delta di recupero non ha documentato variazioni statisticamente significative tra i tre pattern lesionali per quanto concerne la flessione ($p = 0.0953$), la supinazione ($p = 0.6685$) e la pronazione ($p = 0.4518$).

L'unica eccezione di rilievo è rappresentata dal recupero dell'estensione nell'intervallo compreso tra i 6 mesi e il follow-up a 1 anno. Il test di Kruskal-Wallis ha rilevato una differenza inter-gruppo statisticamente significativa ($p = 0.0238$): il gruppo trans-scafoideo ha mostrato un incremento dell'estensione marcatamente superiore ($+17.5^\circ$ mediani) rispetto alla variante trans-stiloidea ($+12.5^\circ$ mediani) e, soprattutto, rispetto al gruppo delle lussazioni perilunate pure, che ha registrato un guadagno quasi nullo ($+2.5^\circ$ mediani), suggerendo un plateau precoce o un maggiore irrigidimento capsulare intrinseco in quest'ultimo pattern (Fig. 35).

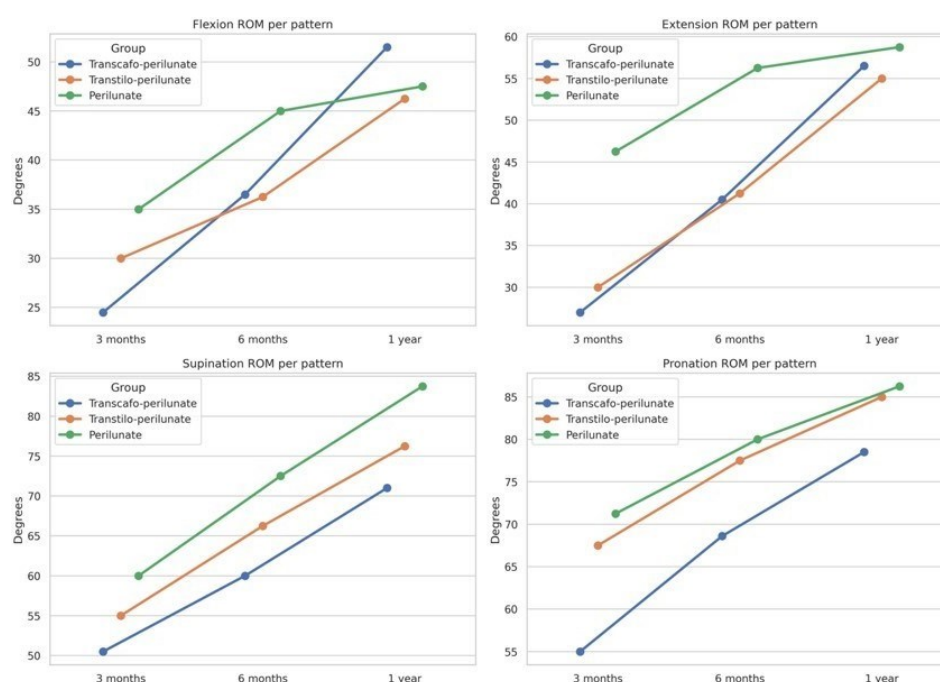


Fig. 35 Analisi comparativa del Range of Motion (ROM) al follow-up finale, stratificata in base ai tre pattern lesionali della coorte (lussazioni perilunate pure, varianti trans-scafoidee e varianti trans-stiloidee).

6.6.2 Valutazione della Forza di Presa Residua

La quantificazione della forza al dinamometro di Jamar a 1 anno ha mostrato un ripristino della forza muscolare numericamente differenziato, con un recupero più brillante nella variante trans-stiloidea (Jamar ratio mediano di 0.82; deficit del 18.33%), seguita dal gruppo trans-scafoideo (Jamar ratio mediano di 0.80; deficit del 20.20%) e, infine, dalle lussazioni perilunate pure (Jamar ratio mediano di 0.75; deficit del 24.75%). Ciononostante, questa differenza numerica tra i gruppi non è statisticamente significativa.

Il test within-group (lato operato vs controlaterale sano) ha evidenziato un deficit residuo sistematico statisticamente significativo solo nel gruppo trans-scafoideo ($p = 0.0078$), ma probabilmente questo riscontro è influenzato dalla numerosità del gruppo ($n=10$) rispetto alle varianti trans-stilo e perilunate pure; quest'ultime avendo un $n=4$ ciascuna hanno inevitabilmente una potenza statistica molto bassa.

A conferma di ciò, il confronto finale tra i tre gruppi, eseguito tramite il test di Kruskal-Wallis, ha escluso differenze statisticamente significative tra i tre pattern lesionali sia per la forza assoluta dell'arto operato ($p = 0.6270$), sia per il Jamar ratio ($p = 0.8419$), attestando una sostanziale omogeneità del recupero di forza a un anno indipendentemente dal danno primitivo (Fig. 36).

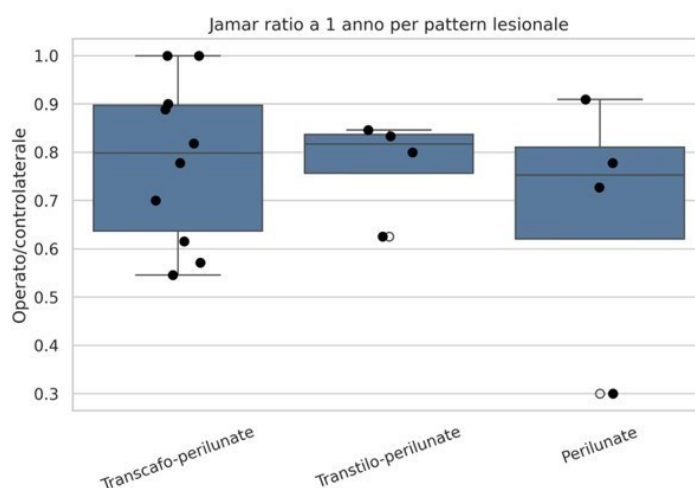


Fig. 36 Distribuzione dei valori di Jamar ratio al follow-up finale nei tre sottogruppi patologici esaminati: il grafico evidenzia la sostanziale sovrapposizione e omogeneità dei valori di Jamar ratio.

6.6.3 Confronto degli Outcomes Funzionali (Mayo e PRWE)

L'analisi delle variazioni intra-paziente (within-group) tra i 6 mesi e il follow-up finale ha mostrato che il miglioramento dei punteggi clinici mantiene una significatività statistica solo all'interno del sottogruppo trans-scafoideo, numericamente più solido ($p = 0.0039$ per il Mayo Score; $p = 0.0020$ per il PRWE). Nei restanti due sottogruppi (lussazioni pure e trans-stiloidee), pur registrandosi variazioni cliniche positive del tutto sovrapponibili (incremento mediano del Mayo di +12.5 e +10.0 punti; decremento mediano del PRWE di -15.0 e -13.5 punti), il p-value non ha raggiunto la significatività a causa della ridotta potenza campionaria intrinseca dei due piccoli cluster ($n = 4$).

Il confronto tra i tre gruppi in termini di miglioramento complessivo, eseguito tramite il test di Kruskal-Wallis, ha confermato l'assenza di differenze statisticamente rilevanti sia per lo score Mayo ($p = 0.2547$) sia per lo score PRWE ($p = 0.5979$).

A lungo termine, i tre pattern lesionali raggiungono punteggi mediani finali stabili e sovrapponibili (Mayo mediano: 80.0 per le lussazioni pure, 80.0 per le trans-scafoidee, 82.5 per le trans-stiloidee), indicando un potenziale di recupero funzionale globale analogo, come evidenziato nella Fig. 37.

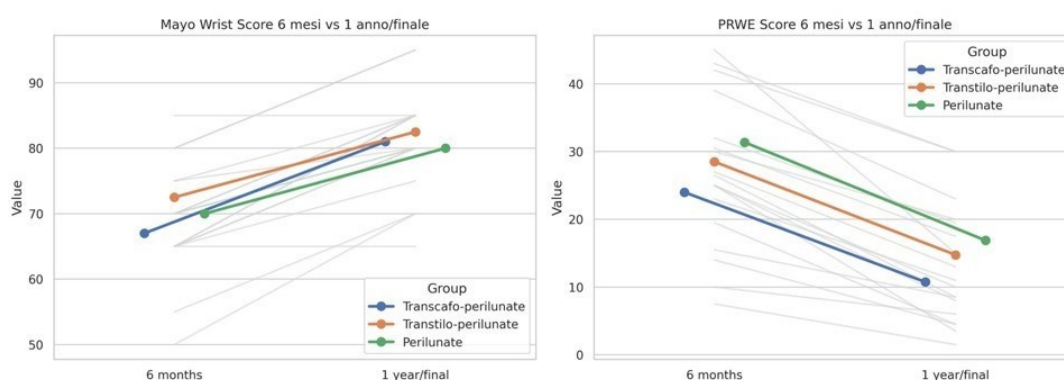


Fig. 37 Distribuzione dei punteggi mediani finali Mayo Wrist Score e PRWE nei tre macro-gruppi della casistica.

7. DISCUSSIONE

7.1 Analisi del ripristino clinico-funzionale e della forza di presa: il fenomeno del recupero tardivo

L'analisi longitudinale della presente coorte ha dimostrato che il processo di recupero del ROM articolare nei pazienti affetti da lesione perilunata non si esaurisce nei primi sei mesi post-operatori, ma prosegue in maniera significativa ($p < 0.0001$) fino al follow-up finale, ovvero ad un anno dal trauma. I nostri risultati evidenziano come tutti i parametri cinematici abbiano registrato un incremento costante: la flessione ha raggiunto una mediana finale di 47.5° e l'estensione si è stabilizzata sui 60° . Questo andamento progressivo è uno dei risultati più solidi dello studio, e trova riscontro nella letteratura: autori autorevoli come Hildebrand et al. [53] e Souer et al. [54], nel valutare gli esiti a lungo termine della riduzione a cielo aperto (ORIF), hanno documentato come la forte rigidità articolare causata da questi gravi traumi richieda tempi di guarigione molto lunghi, che spesso superano i dodici mesi dall'intervento.

Un'ulteriore conferma sul miglioramento a lungo termine di queste gravi lesioni è offerta dallo studio condotto da Garçon et al. (2022), i quali hanno monitorato una coorte comparabile di lussazioni e fratture-lussazioni perilunate per un follow-up medio di ben 118 mesi [45]. Al termine del primo decennio post-operatorio, gli autori hanno registrato un arco di flessione-estensione medio complessivo di 86° (circa il 66% dell'arto sano). Nel nostro studio, l'arco medio complessivo registrato a un anno dal trattamento chirurgico si è attestato a ben 108.12° (frutto di una flessione media di 50.00° e di un'estensione media di 58.12°). Questo dato clinico risulta essere particolarmente brillante ed evidenzia un recupero cinematico superiore rispetto ai dati storici francesi, specialmente se contestualizzato a soli dodici mesi dall'intervento rispetto al follow-up decennale della letteratura.

È interessante notare come Garçon et al. abbiano riscontrato una sostanziale assenza di differenze statisticamente significative nella mobilità finale tra le lussazioni pure e le varianti con frattura scheletrica, supportando pienamente l'omogeneità degli outcomes cinematici emersa anche dall'analisi della nostra casistica a un anno dal trauma.

Per quanto concerne gli score clinici, l'aumento registrato dal Modified Mayo Wrist Score (incremento mediano di +15.0 punti, $p = 0.0004$) e il contestuale crollo del punteggio di disabilità percepita PRWE (riduzione mediana di -13.0 punti, $p = 0.0002$) tra i 6 mesi e il controllo finale confermano che il recupero della confidenza e del normale utilizzo articolare, così come la risoluzione della sintomatologia dolorosa, richiedono un percorso riabilitativo specifico e prolungato. Questo risulta essere coerente con quanto riscontrato in letteratura, in particolare nello studio a lungo termine condotto da Xiao-Jun Yu et al. sulle fratture-lussazioni trans-scafo-perilunate trattate con tecnica open. Gli autori evidenziano come il raggiungimento di rating ottimi ed eccellenti al Mayo Wrist Score richieda tempistiche di follow-up prolungate, necessarie affinché i pazienti riacquistino una reale autonomia e confidenza articolare nelle attività quotidiane ad alta richiesta funzionale [55]. Tutto ciò si riscontra come già detto anche nella nostra casistica, all'interno della quale la variante trans-scafoidea rappresenta proprio il cluster numericamente più rappresentato (55.6%).

Un discorso analogo, ma caratterizzato da differenti tempistiche, può esser fatto per la forza di prensione residua misurata al dinamometro di Jamar. Al follow-up finale ad un anno, la coorte ha evidenziato un Jamar ratio mediano di 0.79, traducendosi in un deficit di forza sistematico del 21.1% rispetto all'arto controlaterale sano ($p = 0.0004$). Sebbene tale deficit residuo possa apparire penalizzante per una popolazione composta interamente da soggetti maschi in piena età lavorativa, il confronto con i dati storici internazionali dimostra l'assoluta eccellenza di tale risultato. Hildebrand et al. hanno infatti riportato, in pazienti sottoposti a chirurgia open tradizionale, una forza di presa media pari ad appena il 73% del lato sano a 37 mesi di follow-up [53]. Parallelamente, Souer et al. hanno documentato valori di forza residua del 67% nei casi trattati con fili di Kirschner e del 74% nei pazienti stabilizzati mediante viti da compressione [54]. Il traguardo del 79% di forza mediana raggiunto dai pazienti della nostra casistica a soli 12 mesi non solo si inserisce perfettamente nel contesto della letteratura internazionale, ma testimonia l'efficacia del protocollo di riduzione anatomica e della successiva stabilità rigida ottenuta in sala operatoria e del conseguente avvio a iter riabilitativo specifico.

7.2 Il fattore tempo e la gestione in urgenza: la correlazione clinico-prognostica

Il secondo quesito clinico posto in tale studio sperimentale ha riguardato l'impatto del timing chirurgico — inteso come l'intervallo di ore intercorso tra l'evento traumatico e la stabilizzazione definitiva in sala operatoria — sugli esiti clinici e funzionali a lungo termine. Nella gestione d'urgenza delle lesioni perilunate del carpo, il fattore tempo rappresenta una variabile ampiamente dibattuta, ma dall'analisi della nostra casistica è emerso un quadro epidemiologico e clinico fortemente polarizzato, che merita un'attenta riflessione.

Mentre la coorte complessiva ha mostrato un tempo mediano all'intervento di 24 ore, stratificando i pazienti in base al pattern lesionale si è potuto osservare un aspetto rilevante: le varianti trans-scafo-perilunate e trans-stilo-perilunate hanno registrato un accesso alla sala operatoria estremamente tempestivo, con mediane rispettivamente di 10 e 15.5 ore. Al contrario, le lussazioni perilunate pure hanno subito un ritardo terapeutico drammatico, evidenziando una mediana di attesa dall'evento traumatico pari a ben 277 ore (circa 11,5 giorni).

Questo ritardo sistematico non costituisce un'anomalia isolata della nostra casistica, ma rispecchia una problematica globale ben documentata in letteratura. Nella loro recente ed estesa Systematic Review, van der Oest et al. hanno formalizzato una categorizzazione cronologica rigorosa delle lesioni perilunate, definendo come trattamenti "in acuto" quelli eseguiti entro i primi 7 giorni dal trauma, "ritardati" quelli tra i 7 e i 45 giorni, e "cronici" quelli oltre i 45 giorni [56]. Riportando tale classificazione nella nostra casistica, mentre i pazienti con interessamento scheletrico (Arco Maggiore) sono stati trattati in acuto, i pazienti affetti da lussazione pura (Arco Minore) si sono presentati alla nostra osservazione già in una condizione di trattamento ritardato: la ragione di questa discrepanza risiede nella difficoltà dell'inquadramento diagnostico iniziale in regime di urgenza per le lesioni dell'Arco Minore, come sottolineato anche da van der Oest et al. nella loro analisi.

È tuttavia fondamentale evidenziare come, una volta superato l'ostacolo del ritardo diagnostico territoriale e giunti all'osservazione specialistica presso il nostro centro, tutti i pazienti siano stati stabilizzati e trattati chirurgicamente entro un arco temporale non superiore alle 48 ore.

Sicuramente l'aspetto più rilevante emerso dalla nostra analisi statistica risulta essere il fatto che tale ritardo diagnostico e terapeutico non è privo di conseguenze. Sotto il profilo strettamente scientifico, questo studio introduce un elemento di novità nel panorama internazionale: mentre la letteratura classica si limita a stratificare i pazienti in macroclassi rigide, ovvero acuti o cronici, nel nostro lavoro è stata applicata per la prima volta un'analisi statistica continua basata sulle ore effettive di attesa. L'applicazione del test di correlazione di Spearman ha infatti dimostrato l'esistenza di una correlazione positiva e statisticamente significativa tra le ore di attesa antecedenti l'intervento e il punteggio dello score PRWE al follow-up finale a un anno ($\rho = 0.578$, $p = 0.012$). Poiché a un punteggio PRWE più elevato corrisponde una maggiore disabilità e una più severa sintomatologia dolorosa percepita dal paziente, questo dato prova per la prima volta che ogni singola ora passata in condizione di lussazione e mancato trattamento agisce come un moltiplicatore progressivo del dolore cronico e compromette direttamente la qualità della vita del paziente a lungo termine. Per quanto di nostra conoscenza tale correlazione non era mai stata dimostrata nella letteratura internazionale.

Da un punto di vista fisiopatologico, l'attesa prolungata in una condizione di lussazione promuove l'instaurarsi di una deposizione di tessuto cicatriziale articolare (artrofibrosi) precoce e massiva, rendendo le manovre di riduzione chirurgica a cielo aperto più laboriose e aggressive, e compromettendo la successiva possibilità recupero biologico dei tessuti. I nostri risultati confermano dunque quanto concluso da van der Oest et al., ovvero il fatto che i migliori outcomes clinici si ottengono nei pazienti stabilizzati entro la prima settimana dal trauma. Il timing chirurgico si configura pertanto come un fattore prognostico fondamentale, sottolineando l'assoluta necessità di implementare protocolli di valutazione radiografica in Pronto Soccorso, per intercettare precocemente le varianti pure ed evitare che un trauma acuto si trasformi, per ritardo diagnostico, in una lesione inveterata ad alto impatto invalidante.

7.3 Impatto del pattern lesionale sugli esiti: traumi dell'Arco Maggiore vs Arco Minore

Il terzo e ultimo obiettivo dell'indagine ha riguardato l'analisi comparativa degli esiti al follow-up finale, allo scopo di determinare se il pattern lesionale di partenza condiziona il recupero del paziente. In letteratura vi è un aperto dibattito relativamente a quale sia la configurazione gravata da prognosi peggiore: vi sono sostenitori dei traumi dell'Arco Maggiore, in virtù della presenza dell'alterazione ossea, e altri dei dell'Arco Minore, a causa del già descritto ritardo diagnostico.

I risultati emersi dalla nostra casistica evidenziano un dato di estremo interesse clinico: a dodici mesi dall'intervento, la stratificazione dei pazienti nei tre gruppi epidemiologici — lussazioni perilunate pure, varianti trans-scafo-perilunate e varianti trans-stilo-perilunate — ha mostrato una sostanziale omogeneità nella quasi totalità degli outcomes analizzati. Non sono state infatti riscontrate differenze significativamente rilevanti nei punteggi del Modified Mayo Wrist Score, del questionario PRWE e nei valori della forza di prensione residua misurata al dinamometro di Jamar. Questo traguardo di uniformità clinica supporta l'efficacia delle scelte chirurgiche adottate: l'esecuzione di una riduzione anatomica rigorosa e di una fissazione interna stabile è in grado di livellare le differenze lesionali di partenza, conducendo i pazienti a un analogo recupero funzionale.

Tale evidenza trova riscontro negli studi internazionali: autori come Woo-Taek et al., nel confrontare gli esiti della riduzione a cielo aperto (ORIF) rispetto alle tecniche artroscopiche nelle varianti trans-scafoidee, hanno evidenziato come la stabilità della sintesi e l'adeguato ripristino dei rapporti articolari siano i veri determinanti del successo clinico a lungo termine [39]. Analogamente, il già citato studio a lungo termine di Xiao-Jun Yu et al. sulle varianti trans-scafo-perilunate ha confermato che l'interessamento osseo dello scafoide, se consolidato adeguatamente tramite viti da compressione, non inficia il recupero della forza o la risoluzione del dolore rispetto alle lesioni puramente legamentose [55].

Tuttavia, l'analisi del Range of Motion della nostra coorte ha fatto registrare un'eccezione isolata ma altamente significativa relativamente al recupero dell'estensione del polso: i

pazienti affetti da lussazione perilunata pura (Arco Minore) hanno infatti mostrato risultati peggiori rispetto ai pazienti con variante trans-scafoidea e trans-stiloidea (Arco Maggiore). Questa discrepanza trova spiegazione nella diversa biologia di guarigione dei tessuti colpiti. Nelle varianti dell'Arco Maggiore, l'energia del trauma causa la frattura dell'osso, scafoide o lo stiloide; una volta ridotti e fissati con viti o fili i relativi frammenti, l'osso va incontro a guarigione rigenerando un tessuto identico a quello originario, permettendo un buon recupero del movimento, a patto di ripristinare nel miglior modo possibile la corretta congruenza articolare. Al contrario, nelle lussazioni pure dell'Arco Minore, il danno colpisce la capsula articolare e i legamenti, i quali vanno incontro a guarigione tramite apposizione di tessuto cicatriziale fibroso e rigido (artrofibrosi). Ed è proprio questo ad agire come un vero e proprio freno meccanico proprio durante il movimento di estensione, limitando l'escursione del polso.

Questo risultato ottenuto dall'analisi della nostra casistica permette di evidenziare un aspetto clinico importante: anche se in fase acuta la frattura dello scafoide preoccupa maggiormente il chirurgo, a lungo termine è la lesione legamentosa pura a determinare il prezzo più alto in termini di rigidità, richiedendo un percorso riabilitativo ancora più attento e prolungato.

7.4 Punti di forza e limiti dello studio

Prima di trarre le conclusioni definitive, è necessario procedere a un'analisi critica del presente studio, evidenziandone sia i limiti intrinseci sia i punti di forza metodologici.

Il principale limite dello studio risiede nella natura retrospettiva dell'indagine e nella numerosità campionaria della coorte, limitata a 18 pazienti. Tuttavia, tale restrizione numerica deve essere contestualizzata data l'estrema rarità epidemiologica delle lussazioni e fratture-lussazioni perilunate, che rappresentano lesioni di riscontro eccezionale nella pratica clinica quotidiana. Tale dato infatti è in linea con la numerosità campionaria degli altri studi presenti in letteratura. Inoltre, la coorte è composta interamente da soggetti di sesso maschile; se da un lato questo riflette fedelmente il profilo epidemiologico standard di questi traumi (che colpiscono prevalentemente

giovani lavoratori o sportivi esposti a dinamiche ad alta energia), dall'altro impedisce di generalizzare i risultati alla popolazione di sesso femminile.

Di contro, lo studio presenta rilevanti punti di forza:

- L'omogeneità della gestione chirurgica e riabilitativa: tutti i pazienti sono stati trattati presso un unico centro specialistico (S.O.D. di Chirurgia Ricostruttiva e Chirurgia della Mano dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Ospedali Riuniti di Ancona), dalla stessa équipe chirurgica e secondo criteri di riduzione e stabilizzazione rigorosi e standardizzati. Ciò azzera i bias legati a differenti filosofie di trattamento o abilità tecniche dell'operatore.
- La solidità del follow-up e la completezza dei dati: nonostante la rarità della patologia, la coorte non ha subito perdite al follow-up a un anno. L'analisi longitudinale a scadenze fisse (3, 6 e 12 mesi) ha permesso di raccogliere un set di dati cinematici, clinici e soggettivi estremamente completo e robusto.
- L'uso di score validati e complementari: l'aver affiancato a una valutazione clinica oggettiva (Modified Mayo Wrist Score) uno score soggettivo incentrato sulla percezione del paziente (PRWE) ha consentito di ottenere una panoramica fedele e multidimensionale del reale impatto della patologia sulla vita quotidiana e lavorativa della coorte.

8. CONCLUSIONI

Lo studio retrospettivo condotto su una coorte di 18 pazienti affetti da lussazione e frattura-lussazione perilunata del carpo, trattati chirurgicamente presso la S.O.D. di Chirurgia Ricostruttiva e Chirurgia della Mano dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Ospedali Riuniti di Ancona, ha permesso di delineare aspetti rilevanti in ambito clinico, prognostico e riabilitativo. Riprendendo i tre quesiti posti alla base dell'indagine, è possibile concludere che:

1. **Il processo di guarigione e il recupero clinico-funzionale possiedono un'evoluzione progressiva e tardiva:** l'analisi longitudinale ha dimostrato che il percorso di recupero del Range of Motion (ROM) articolare, della forza di prensione e il miglioramento degli score clinici (Modified Mayo Wrist Score e PRWE) non si arrestano a sei mesi dall'intervento. Al contrario, tra il controllo intermedio e il follow-up finale a dodici mesi si registra un guadagno cinematico e funzionale statisticamente robusto e clinicamente significativo. A un anno dal trauma, la coorte ha raggiunto un arco di flessione-estensione medio complessivo pari a 108.12° (flessione media di 50.00° ed estensione media di 58.12°), risultato particolarmente brillante, che supera i dati della letteratura internazionale. E tutto ciò sottolinea l'importanza di non considerare definitivo il quadro clinico a metà percorso e soprattutto supporta la necessità di estendere il monitoraggio e il supporto fisioterapico specifico e dedicato per almeno un anno dal trauma.
2. **Il timing chirurgico in urgenza è un fattore prognostico primario per il controllo del dolore cronico e il recupero funzionale:** l'indagine ha svelato un importante paradosso gestionale, ossia il fatto che le varianti con interessamento scheletrico (Arco Maggiore) vengono diagnosticate con tempestività maggiore e operate entro poche ore dall'accesso in Pronto Soccorso, mentre le lussazioni pure (Arco Minore) subiscono un ritardo diagnostico e terapeutico sistematico (mediana di 277 ore), venendo spesso misconosciute in prima battuta. Di conseguenza, una lesione inizialmente più preoccupante e complessa mostra outcomes funzionali migliori rispetto alla sola lussazione perilunata pura. Tuttavia, va sottolineato come, una volta giunti all'osservazione specialistica

presso la nostra S.O.D., tutti i pazienti siano stati stabilizzati e trattati chirurgicamente entro le 48 ore. Sotto il profilo scientifico, l'applicazione del test di Spearman introduce un forte elemento di novità nel panorama internazionale: superando la rigidità categoriale delle macro-classi della letteratura classica, abbiamo dimostrato per la prima volta su base statistica continua che ogni singola ora passata in condizione di lussazione e mancato trattamento agisce come un potente fattore di amplificazione del dolore cronico e della disabilità (PRWE Score) a distanza di un anno, evidenziando l'assoluta urgenza di migliorare i protocolli diagnostici radiologici di primo livello. Nel panorama della letteratura scientifica, è la prima volta che viene dimostrata una correlazione significativa tra il ritardo orario nell'intervento chirurgico rispetto al trauma e il peggior outcome funzionale espresso dal PRWE.

3. **La chirurgia livella gli esiti complessivi, ma le lesioni legamentose pure pagano un prezzo cinematico più alto in estensione:** L'analisi comparativa a un anno ha evidenziato una sostanziale omogeneità tra i tre gruppi d'esame per quanto concerne la forza residua (attestatasi a un'eccellente mediana complessiva del 79% rispetto al lato sano) e gli score funzionali. Tuttavia, i pazienti affetti da lussazione pura (Arco Minore) hanno mostrato un deficit selettivo e un blocco nel recupero dell'estensione del polso. Tale fenomeno, riconducibile alla biologia della guarigione legamentosa e capsulare che avviene per deposizione fibrosa (artrofibrosi) anziché per restitutio ad integrum come nel tessuto osseo, ridefinisce il peso prognostico delle varianti: a lungo termine, la lesione capsulo-legamentosa pura incide sulla mobilità più del danno scheletrico, imponendo protocolli riabilitativi precoci e specifici per vincere la resistenza del tessuto cicatriziale.

In conclusione, il trattamento chirurgico tempestivo mirato alla riduzione anatomica e alla stabilizzazione si conferma il gold standard terapeutico capace di garantire ottimi risultati a lungo termine in questa complessa popolazione di pazienti. I dati emersi dal presente studio suggeriscono che gli sforzi futuri debbano concentrarsi sull'azzeramento del ritardo diagnostico in regime di urgenza e sulla strutturazione di percorsi riabilitativi specifici e prolungati nel tempo.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Anastasi, G., et al. (2020). Trattato di anatomia umana. Edi.Ermes.
2. Taleisnik, J. (1980). The ligaments of the wrist. *Journal of Hand Surgery*.
3. Scalcione LR, Gimber LH, Ho AM, Johnston SS, Sheppard JE, Taljanovic MS. Spectrum of carpal dislocations and fracture-dislocations: imaging and management.
4. Kauer, J. M. G. (1980). Functional anatomy of the wrist. *Clinical Orthopaedics and Related Research*.
5. Ruby, L. K., et al. (1988). The effect of progressive injury on wrist kinematics. *Journal of Hand Surgery*.
6. Sandow, M. J., et al. (2014). The stable central column and the four-bar linkage system of the scaphoid: a new theory of wrist kinematics. *Journal of Wrist Surgery*.
7. Mele, R., & Pinat, F. (2007). Principi di anatomia funzionale e biomeccanica dell'arto superiore. In: Landi, A., Catalano, F., & Luchetti, R. (Eds.), *Trattato di Chirurgia della Mano*. Verduci Editore.
8. Sarrafian, S. K., et al. (1977). Kinematics of the wrist: an experimental study. *Journal of Bone and Joint Surgery*.
9. Kaufmann, R. A., et al. (2005). Midcarpal joint contribution to wrist motion. *Journal of Hand Surgery*.
10. Schuind, F., et al. (1995). Force transmission through the wrist joint: a theoretical framework. *Journal of Biomechanics*.
11. Youm, Y., et al. (1978). Kinematics of the wrist. I. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension. *Journal of Bone and Joint Surgery*.
12. Badida, R., et al. (2021). The effect of progressive ligament sectioning on the center of rotation of the wrist. *Journal of Hand Surgery*.
13. Salva-Coll, G., et al. (2024). Dynamic stabilization of the carpus: the role of proprioception and neuromuscular control. *Journal of Hand Therapy*.
14. Pilato, G. (2007) Le lussazioni e le fratture-lussazioni del carpo. In: Landi, A., Catalano, F., & Luchetti, R. (Eds.), *Trattato di Chirurgia della Mano*. Verduci Editore.
15. Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RK. Carpal dislocations: pathomechanics and progressive perilunar instability. *J Hand Surg Am*. 1980 May;5(3):226-41. doi: 10.1016/s0363-5023(80)80007-4. PMID: 7400560.

16. Kapoor G, Heire P, Turmezei T, Chojnowski A, Toms AP. Perilunate injuries: biomechanics, imaging, and classification. *Clin Radiol*. 2020 Feb;75(2):81-87. doi: 10.1016/j.crad.2019.10.016. Epub 2019 Dec 2. PMID: 31806363.
17. Cooney, W. P., Garcia-Elias, M., Dobyns, J. H., & Linscheid, R. L. (2007). Chapter 13: Carpal dislocations and instability. In: Wolfe, S. W., Hotchkiss, R. N., Pederson, W. C., & Kozin, S. H. (Eds.), *Green's Operative Hand Surgery*. 5th ed. Elsevier.
18. Green DP, O'Brien ET: Open reduction of carpal dislocations: Indications and operative techniques. *J Hand Surg* 3: 250-265 (1978).
19. Liechti, R., et al. (2023). Pure perilunate dislocations versus perilunate fracture-dislocations: a recent systematic review. *Journal of Wrist Surgery*.
20. Herzberg, G., et al. (1993). Perilunate dislocations and fracture-dislocations: a multicenter study. *Journal of Hand Surgery*, 18(5).
21. Patel, A., et al. (2024). Epidemiology, mechanism of injury, and demographics of perilunate fracture-dislocations in young adults. *Trauma and Orthopaedic Research*.
22. Israel, D., et al. (2016). Demographics and injury patterns in perilunate dislocations: a retrospective review. *Hand*.
23. Rachunek-Medved, M., et al. (2025). Gender distribution and demographic analysis of high-energy carpal injuries. *Acta Orthopaedica*.
24. Lebot, G., et al. (2021). Socioeconomic impact and professional reclassification after perilunate dislocations. *Hand Surgery and Rehabilitation*.
25. Lameijer, C. M., et al. (2020). Long-term outcomes and return to work after perilunate injuries: an 8-year follow-up study. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*.
26. Fisher, M., et al. (2022). Missed perilunate injuries: factors contributing to delayed diagnosis and its clinical impact. *Journal of Hand Surgery*.
27. Garçon, C., et al. (2022). Delayed management of perilunate dislocations and fracture-dislocations: a systematic review of outcomes. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*.
28. Green DP, O'Brien ET.: Classification and management of carpal dislocations. *Clin Orthop* 149: 55-72, 1980.
29. Messina JC, Van Overstraeten L, Luchetti R, Fairplay T, Mathoulin CL. The EWAS Classification of Scapholunate Tears: An Anatomical Arthroscopic Study. *J Wrist*

- Surg. 2013 May;2(2):105-9. doi: 10.1055/s-0033-1345265. PMID: 24436801; PMCID: PMC3699273.
30. Andersson JK, Garcia-Elias M. Dorsal scapholunate ligament injury: a classification of clinical forms. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*. 2013;38(2):165-169. doi:[10.1177/1753193412441124](https://doi.org/10.1177/1753193412441124)
 31. Wilson MS. Diagnosis and Management of Lunotriquetral Ligament Injuries. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2023 Feb;16(2):55-59. doi: 10.1007/s12178-022-09819-7. Epub 2023 Jan 23. PMID: 36689137; PMCID: PMC9889576.
 32. Gilula, LA, Weeks PM: Post-traumatic ligamentous instabilities of the wrist. *Radiology* 129: 641-651 (1978)
 33. Gilula LA. Carpal injuries: analytic approach and case exercises. *AJR* 1979; 133:503-517
 34. Griffith, J. F., et al. (2001). Sonography of the normal scapholunate ligament and scapholunate joint space. *J Clin Ultrasound*
 35. Staebler, A., Schmitt, R., & Krimmer, H. (2008). Carpal Dislocations and Fracture-Dislocations. In: *Diagnostic Imaging of the Hand*. Thieme.
 36. Jagiella-Lodise O, Sweeney A, Ghareeb P, Zelenski NA. Perilunate Dislocation Reduction Technique and Results. *HAND*. 2026;21(3):372-379. doi:[10.1177/15589447251317236](https://doi.org/10.1177/15589447251317236)
 37. E. Apergis, J. Maris, G. Theodoratos, D. Pavlakis, N. Antoniou. Perilunate dislocations and fracture-dislocations. Closed and early open reduction compared in 28 cases. *Acta Orthop Scand Suppl*. 275: 1997; 55–59
 38. J.W. Adkison, M.W. Chapman. Treatment of acute lunate and perilunate dislocations. *Clin Orthop Relat Res*. 164: 1982; 199–207
 39. Won-Taek Oh, Yun-Rak Choi, Ho-Jung Kang, Il-Hyun Koh, Kyung-Han Lim, Comparative Outcome Analysis of Arthroscopic-Assisted Versus Open Reduction and Fixation of Trans-scaphoid Perilunate Fracture Dislocations, *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, Volume 33, Issue 1, 2017, Pages 92-100, ISSN 0749-8063, <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.07.018>.
 40. Husain, R., Persitz, J., Chan, A.H.W. and Paul, R. (2025), Arthroscopic Assisted Reduction and Percutaneous Fixation of Acute Perilunate Injuries. *Arthroscopy Techniques*, 14: 103350. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2024.103350>

41. Distal radius fractures and Carpal Instabilities, FESSH IFSSH 2019 Instructional book
42. Surgical exposure in orthopaedics: the anatomic approach; Hoppenfeld S. Piet de Boer et al.
43. Berger RA, Bishop AT, Bettinger PC. New dorsal capsulotomy for the surgical exposure of the wrist. *Ann Plast Surg.* 1995 Jul;35(1):54-9. doi: 10.1097/00000637-199507000-00011. PMID: 7574287.
44. Martinage, A., Balaguer, T., Chignon-Sicard, B., Monteil, M.-C., Dréant, N., & Lebreton, E. (2008). *Perilunate dislocations and fracture-dislocations of the wrist, a review of 14 cases.* *Chirurgie de la Main*, 27(1).
45. Garçon, C., Degeorge, B., Coulet, B., Lazerges, C., & Chammas, M. (2022). *Perilunate dislocation and fracture dislocation of the wrist: Outcomes and long-term prognostic factors.* *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 108(5).
46. Heineman, N., Do, D.-H., & Golden, A. (2023). *Carpal dislocations.* *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 48(2_suppl).
47. Herzberg, G. (2008). *Perilunate and axial carpal dislocations and fracture-dislocations.* *Journal of Hand Surgery (American Volume)*, 33(9).
48. Forli, A., Courvoisier, A., Wimsey, S., Corcella, D., & Moutet, F. (2010). *Perilunate dislocations and transscaphoid perilunate fracture-dislocations: a retrospective study with minimum ten-year follow-up.* *Journal of Hand Surgery (American Volume)*, 35(1).
49. Kim, J. P., Lee, J. S., & Park, MJ. (2015). *Arthroscopic treatment of perilunate dislocations and fracture dislocations.* *Journal of Wrist Surgery*, 4(2).
50. Liechti, R., Merky, D. N., Grobbelaar, A. O., van de Wall, B. J. M., Vögelin, E., & Hirsiger, S. (2023). *Outcomes of acute perilunate injuries—a systematic review.* *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 49(3).
51. Ahsan, Z. S., & Yao, J. (2012). *Complications of wrist arthroscopy.* *Arthroscopy*, 28(6).
52. Quintero, J. I., Van Royen, K., Bouri, F., Muneer, M., & Tien, H. (2021). *Avascular necrosis of the lunate secondary to perilunate fracture dislocation: Case report and review of the literature.* *SAGE Open Medical Case Reports*, 9.

53. Hildebrand K, Ross D, Patterson S. et al. Dorsal perilunate dislocations and fracture-dislocations: Questionnaire, clinical, and radiographic evaluation *Journal of Hand Surgery*, 25, 1069-1079
54. Souer JS, Rutgers M, Andermahr J, Jupiter JB, Ring D. Perilunate fracture-dislocations of the wrist: comparison of temporary screw versus K-wire fixation. *J Hand Surg Am*. 2007 Mar;32(3):318-25. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.01.008. PMID: 17336837.
55. Yu XJ, Wang SX, Guo XZ, Liu QK, Wang YG, Qu YK, Kang H, Bao Y. Long-term results of trans-scaphoid perilunate fracture dislocations treated by open reduction and internal fixation. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022 Aug 31;23(1):825. doi: 10.1186/s12891-022-05748-1. PMID: 36045376; PMCID: PMC9429764.
56. van der Oest MJW, Duraku LS, Artan M, Hundepool CA, Power DM, Rajaratnam V, Zuidam JM. Perilunate Injury Timing and Treatment Options: A Systematic Review. *J Wrist Surg*. 2021 Oct 5;11(2):164-176. doi: 10.1055/s-0041-1735841. PMID: 35478950; PMCID: PMC9038303.

RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia più profonda e sincera gratitudine al Chiarissimo **Prof. Antonio P. Gigante**, Relatore della presente tesi di laurea. Lo ringrazio per aver guidato il mio percorso accademico e, dandomi fiducia, avermi concesso l'opportunità di sviluppare questo stimolante progetto sperimentale.

Rivolgo poi un sentito e rispettoso ringraziamento al mio Correlatore, il Chiarissimo **Prof. Michele Riccio**. Lo ringrazio per avermi accolto in una realtà clinica di così alto livello, offrendomi un'esperienza e una prospettiva professionale straordinaria nel campo della Chirurgia della Mano; il suo rigore clinico e la sua autorevolezza sono stati per me un costante esempio di eccellenza medica.

Un ringraziamento speciale va alla **Dott.ssa Senesi**. La sua competenza e dedizione alla professione sono state per me una grande fonte di ispirazione, e i suoi preziosi suggerimenti si sono rivelati fondamentali per interpretare al meglio i complessi dati biomeccanici e chirurgici analizzati in questo lavoro.

Desidero ringraziare calorosamente la **Dott.ssa Anna Maria Monachino**. Nonostante la distanza geografica, la sua costante disponibilità, la sua pazienza e il supporto prezioso che mi ha offerto nel riordinare e comprendere le prime tracce di questo studio sono stati per me un punto di riferimento insostituibile.

Infine vorrei ringraziare anche tutto il personale della S.O.D. di Chirurgia Ricostruttiva e Chirurgia della Mano dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Ospedali Riuniti di Ancona. La loro disponibilità, l'accoglienza nel reparto e il supporto nella fase di raccolta e analisi dei dati hanno reso possibile la nascita e la concretizzazione di questa casistica sperimentale.