


UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

---

Corso di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia

# OUTCOME CLINICI E COMPLICANZE DELLE FRATTURE ESPOSTE DOPO TRATTAMENTO DEFINITIVO: STUDIO OSSERVAZIONALE
# CLINICAL OUTCOMES AND COMPLICATIONS FOLLOWING DEFINITIVE TREATMENT OF OPEN FRACTURES: AN OBSERVATIONAL STUDY

Relatore: Chiar.mo

**Prof. Antonio Pompilio Gigante**

Correlatore: Chiar.mo

**Prof. Luca Farinelli**

Tesi di Laurea di:

**Nina Balestra**

A.A. 2025/2026

# INDICE

RIASSUNTO ..... 1

ABSTRACT ..... 2

1. LE FRATTURE: DEFINIZIONE, CLASSIFICAZIONE E GUARIGIONE ..... 4

1.1 Definizione di frattura ossea ..... 4

1.2 Classificazione ..... 4

1.2.1 In base al rapporto con l'ambiente esterno ..... 4

1.2.2 In base all'orientamento e alla complessità della rima ..... 4

1.2.3 In base allo spostamento dei frammenti ..... 5

1.2.4 In base all'eziologia ..... 5

1.3 Il processo di guarigione ossea ..... 6

1.3.1 Guarigione diretta (primaria) ..... 6

1.3.2 Guarigione indiretta (secondaria) ..... 6

1.4 Fratture scomposte ..... 7

1.4.1 Definizione ..... 7

1.4.2 Principali problematiche e rischi ..... 7

1.4.3 Opzioni di trattamento ..... 8

1.4.4 Quadri clinici combinati ..... 8

2. LE FRATTURE ESPOSTE ..... 10

2.1 Definizione ed epidemiologia ..... 10

2.2 Classificazione di Gustilo-Anderson ..... 11

2.3 Principali problematiche e rischi ..... 14

2.4 Management clinico-chirurgico ..... 14

3. DAMAGE CONTROL ORTHOPAEDICS ..... 17

3.1 Il concetto di second hit e la finestra di opportunità ..... 17

3.2 Le tre fasi del DCO ..... 17

3.3 DCO ed Early Total Care ..... 18

4. LA FISSAZIONE ESTERNA ..... 19
4.1 Cenni storici ..... 19
4.2 Evoluzione concettuale ..... 19
4.3 Principi biomeccanici ..... 20
4.4 Tipi di fissatori esterni ..... 21
4.5 Materiali ..... 23
4.6 Complicanze ..... 23
4.6.1 Complicanze settiche ..... 23
4.6.2 Complicanze meccaniche ..... 24
4.6.3 Complicanze neurovascolari e dei tessuti molli ..... 24
4.6.4 Disturbi della consolidazione ..... 24
4.7 Conversione della fissazione esterna in interna ..... 25
5. LA FISSAZIONE INTERNA ..... 26
5.1 Principali indicazioni ..... 26
5.2 Obiettivi e principi biomeccanici ..... 26
5.3 Principali sistemi di fissazione interna ..... 27
5.3.1 Placche e viti ..... 27
5.3.2 Chiodi endomidollari ..... 28
5.4 Acciaio o titanio? ..... 28
5.5 Complicanze della fissazione interna ..... 29
5.5.1 Complicanze biologiche ..... 29
5.5.2 Complicanze meccaniche e legate ai materiali ..... 30
6. OBIETTIVI DELLO STUDIO ..... 31
7. MATERIALI E METODI ..... 32
7.1 Disegno dello studio e setting ..... 32
7.2 Criteri di inclusione ed esclusione ..... 32
7.3 Raccolta dei dati e variabili analizzate ..... 33

7.4 Classificazione delle lesioni e definizione delle complicanze ..... 33
7.5 Protocollo chirurgico e gestione clinica ..... 34
7.6 Analisi statistica ..... 35
8. RISULTATI ..... 36
8.1 Caratteristiche generali della popolazione ..... 36
8.2 Eziologia e meccanismo del trauma ..... 37
8.3 Sede e classificazione delle fratture ..... 39
8.4 Gestione chirurgica: fissazione esterna e sintesi definitiva ..... 40
8.5 Outcome e analisi delle complicanze ..... 44
8.5.1 Complicanze infettive e dei tessuti molli ..... 46
8.5.2 Complicanze tromboemboliche e vascolari ..... 46
8.5.3 Complicanze neurologiche e funzionali ..... 46
8.5.4 Disturbi della consolidazione e reinterventi ..... 47
8.5.5 Analisi dei fattori associati alle complicanze ..... 47
9. DISCUSSIONE ..... 49
9.1 Caratteristiche della popolazione ..... 49
9.2 Tempistica della fissazione esterna e della conversione ..... 49
9.3 Complicanze infettive ..... 50
9.4 Complicanze sistemiche ..... 51
9.5 Esiti funzionali e disturbi della consolidazione ..... 51
9.6 Scelta della sintesi definitiva ..... 52
9.7 Complicanze e durata della degenza ..... 52
10. LIMITI DELLO STUDIO ..... 53
11. CONCLUSIONI ..... 54
BIBLIOGRAFIA ..... 55
SITOGRAFIA ..... 62
ALLEGATI ..... 62

Ringraziamenti ..... 62

# RIASSUNTO

**Background.** Le fratture esposte rappresentano una delle sfide più impegnative della traumatologia ortopedica, per l'elevato rischio di infezione, di disturbi della consolidazione e di esiti funzionali invalidanti. Nei pazienti politraumatizzati o con grave compromissione dei tessuti molli, la strategia di Damage Control Orthopaedics (DCO), basata sulla stabilizzazione temporanea con fissatore esterno seguita dalla conversione a osteosintesi interna definitiva, costituisce un approccio consolidato, ma la letteratura non ha ancora definito in modo univoco la tempistica ottimale della conversione.

**Obiettivi.** Valutare gli outcome clinici e le complicanze delle fratture esposte e complesse trattate con protocollo chirurgico in due tempi presso un DEA di II livello, analizzando la durata della fissazione esterna, il tipo di sintesi definitiva e i possibili fattori associati allo sviluppo di complicanze.

**Materiali e metodi.** Studio osservazionale retrospettivo monocentrico condotto presso la SOD Clinica di Ortopedia Adulta e Pediatrica dell'Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche. Sono stati inclusi i pazienti di età ≥ 15 anni trattati tra il 2019 e il 2026 con fissazione esterna temporanea e successiva conversione a fissazione interna. Sono state raccolte variabili demografiche, cliniche, chirurgiche e le complicanze intraospedaliere e al follow-up. L'analisi statistica è stata di tipo descrittivo ed esplorativo (test U di Mann-Whitney, test esatto di Fisher, correlazione di Spearman; $p < 0,05$).

**Risultati.** Sono stati inclusi 42 pazienti (età media 45,1 ± 17,6 anni; netta prevalenza del sesso maschile), in prevalenza vittime di incidenti stradali (69,0%). Trentaquattro pazienti (81,0%) presentavano almeno una frattura esposta, per un totale di 36 fratture esposte. La durata mediana della fissazione esterna è stata di 12 giorni (IQR 6-30; range 1-207) ed è risultata significativamente più lunga nei pazienti con frattura esposta rispetto a quelli con fratture chiuse (17,5 vs 5 giorni; $p = 0,006$). Il 50,0% dei pazienti ha presentato almeno un evento avverso; le complicanze locali al sito di frattura si sono verificate esclusivamente nel gruppo delle fratture esposte (14/34 vs 0/8; $p = 0,037$). L'infezione del sito di frattura è stata confermata in 2 pazienti (5,9% delle fratture esposte) e sospettata in altri 2 (fino all'11,8%). I pazienti con complicanze hanno avuto una degenza significativamente più lunga (mediana 26 vs 16 giorni; $p = 0,006$) e la durata della fissazione esterna è risultata correlata alla durata della degenza ($\rho = 0,34$; $p = 0,031$). Non

è emersa un'associazione significativa tra durata della fissazione esterna e sviluppo di complicanze.

**Conclusioni.** Nella casistica analizzata il protocollo in due tempi si è dimostrato sicuro, con tassi di infezione in linea con quelli riportati in letteratura per fratture di pari gravità. L'esposizione del focolaio si conferma il principale determinante delle complicanze locali. La ridotta numerosità del campione e la natura retrospettiva dello studio impongono cautela nell'interpretazione dei risultati e suggeriscono la necessità di studi prospettici con raccolta standardizzata del grado di Gustilo-Anderson e di score funzionali validati.

**Parole chiave:** fratture esposte; Damage Control Orthopaedics; fissazione esterna; conversione; osteosintesi interna; infezione del sito di frattura; Gustilo-Anderson.

## ABSTRACT

**Background.** Open fractures represent one of the most challenging conditions in orthopedic trauma, due to the high risk of infection, healing disorders and disabling functional outcomes. In polytraumatized patients or those with severe soft tissue compromise, the Damage Control Orthopedics (DCO) strategy, based on temporary stabilization with an external fixator followed by conversion to definitive internal osteosynthesis, is a well-established approach; however, the optimal timing for conversion has not yet been unequivocally defined in the literature.

**Objectives.** To evaluate the clinical outcomes and complications of complex and open fractures treated with a two stage surgical protocol at a level II Emergency Department (DEA), analyzing the duration of external fixation, the type of definitive synthesis and potential risk factors associated with the development of complications. Materials and methods. A single centre retrospective observational study conducted at the SOD Adult and Pediatric Orthopedic Clinic of the Marche University Hospital (Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche). Patients aged ≥ 15 years treated between 2019 and 2026 with temporary external fixation followed by conversion to internal fixation were included. Demographic, clinical and surgical variables, as well as in-hospital and follow-up complications were collected. Statistical analysis was descriptive and exploratory (Mann-Whitney U test, Fisher’s exact test, Spearman's correlation; $p < 0.05$).

**Results.** A total of 42 patients were included (mean age 45.1 ± 17.6 years; clear male predominance), mostly victims of road traffic accidents (69.0%). Thirty-four patients (81.0%) presented with at least one open fracture, for a total of 36 open fractures. The median duration of external fixation was 12 days (IQR 6-30; range 1-207) and was significantly longer in patients with open fractures compared to those with closed fractures (17.5 vs. 5 days; $p = 0.006$). Fifty percent (50.0%) of patients experienced at least one adverse event; local complications at the fracture site occurred exclusively in the open fracture group (14/34 vs. 0/8; $p = 0.037$). Fracture site infection was confirmed in 2 patients (5.9% of open fractures) and suspected in another 2 (up to 11.8%). Patients with complications had a significantly longer hospital stay (median 26 vs 16 days; $p = 0.006$), and the duration of external fixation correlated with the length of hospital stay ($\rho = 0.34$; $p = 0.031$). No significant association emerged between the duration of external fixation and the development of complications.

**Conclusions.** In the analyzed patient series, the two-stage protocol proved to be safe, with infection rates in line with those reported in the literature for fractures of comparable severity. Fracture site exposure is confirmed as the primary determinant of local complications. The small sample size and the retrospective nature of the study call for caution in interpreting the results and suggest the need for prospective studies with standardized collection of the Gustilo-Anderson grade and validated functional scores.

**Keywords:** open fractures; Damage Control Orthopaedics; external fixation; conversion; internal osteosynthesis; fracture site infection; Gustilo-Anderson.

# 1. LE FRATTURE: DEFINIZIONE, CLASSIFICAZIONE E GUARIGIONE

## 1.1 Definizione di frattura ossea

In ambito ortopedico e traumatologico si definisce frattura un'interruzione della continuità, completa o incompleta, del tessuto osseo, determinata dall'applicazione di forze meccaniche che superano la capacità di resistenza del segmento scheletrico. L'evento lesivo può derivare da un meccanismo di trauma diretto, quando la forza agisce nel punto in cui si verifica la frattura, o indiretto, quando la forza viene trasmessa a distanza dal punto di applicazione [1, 2].

## 1.2 Classificazione

Le fratture possono essere classificate secondo molteplici criteri clinici, morfologici ed eziologici, finalizzati a un corretto inquadramento diagnostico, alla scelta del trattamento e alla comunicazione tra professionisti. Il sistema di riferimento internazionale è la classificazione AO/OTA, che codifica la sede anatomica, il segmento e la morfologia della rima di frattura [3, 4]. Nella pratica clinica i principali criteri descrittivi sono il rapporto con l'ambiente esterno, l'orientamento e la complessità della rima, lo spostamento dei frammenti e l'eziologia.

### *1.2.1 In base al rapporto con l'ambiente esterno*

- **Frattura chiusa:** la cute e i tessuti molli sovrastanti mantengono la propria integrità e non esiste comunicazione tra il focolaio di frattura e l'ambiente esterno.
- **Frattura esposta (o aperta):** una soluzione di continuo della cute e dei tessuti molli mette in comunicazione diretta il focolaio di frattura o il relativo ematoma con l'esterno. Tale condizione comporta un elevato rischio di contaminazione batterica e di complicanze infettive, fino all'osteomielite [5].

### *1.2.2 In base all'orientamento e alla complessità della rima*

- **Trasversa:** la rima decorre perpendicolarmente all'asse longitudinale dell'osso; è generalmente conseguenza di un meccanismo in flessione o di un trauma diretto.
- **Obliqua:** la rima presenta un'inclinazione rispetto all'asse diafisario.

- **Longitudinale:** la rima si estende parallelamente all'asse maggiore del segmento scheletrico.
- **Spiroide:** la rima ha un andamento elicoidale, tipico dei meccanismi torsionali, in cui un'estremità dell'arto resta fissa mentre l'altra ruota (classico esempio è la frattura di gamba dello sciatore).
- **Semplice:** la frattura genera due soli frammenti principali.
- **Pluriframmentaria (comminuta):** rime multiple suddividono il segmento osseo in tre o più frammenti; è tipica dei traumi ad alta energia.
- **A legno verde:** forma incompleta tipica dell'età pediatrica, favorita dalla maggiore elasticità dell'osso e dallo spessore del periostio, in cui si interrompe la sola corticale convessa mentre quella concava subisce un'infrazione.
- **Da compressione (o da impatto):** i frammenti vengono spinti l'uno contro l'altro e risultano compattati o incuneati; è frequente a livello dei corpi vertebrali e delle regioni metaepifisarie.

### *1.2.3 In base allo spostamento dei frammenti*

- **Composta:** i frammenti conservano il normale allineamento anatomico e i reciproci rapporti.
- **Scomposta:** si osserva una perdita dei rapporti anatomici tra i monconi, con possibili spostamenti per traslazione, angolazione, rotazione o accorciamento.

### *1.2.4 In base all'eziologia*

- **Traumatica:** determinata dall'azione improvvisa di una forza esterna di entità tale da superare la resistenza di un osso sano (urto, caduta, incidente).
- **Patologica:** si verifica per traumi minimi o durante i normali carichi fisiologici, su un tessuto osseo indebolito da patologie preesistenti (osteoporosi, lesioni neoplastiche primitive o metastatiche, infezioni).
- **Da stress (o da durata):** deriva da microtraumi ripetuti che determinano un sovraccarico funzionale progressivo; è di frequente riscontro negli atleti e nei militari.

## 1.3 Il processo di guarigione ossea

La riparazione di una frattura è un processo biologico altamente coordinato che, a differenza della maggior parte degli altri tessuti, porta alla rigenerazione di tessuto osseo identico a quello originario, senza la formazione di una cicatrice fibrosa [6, 7]. La modalità con cui la frattura guarisce dipende essenzialmente dalle condizioni meccaniche del focolaio, ovvero dal grado di stabilità e dall'entità dei movimenti interframmentari, e dalla vascolarizzazione locale [8, 9].

### *1.3.1 Guarigione diretta (primaria)*

Quando i frammenti vengono ridotti anatomicamente e mantenuti in stretto contatto mediante compressione interframmentaria, in condizioni di **stabilità assoluta** (tipicamente ottenuta chirurgicamente con viti di compressione e placche), si realizza la guarigione diretta o per prima intenzione. In questo caso la consolidazione avviene senza la formazione di un callo osseo visibile, attraverso il rimodellamento diretto della corticale. Gli osteoclasti attraversano la rima di frattura scavando piccoli tunnel, i cosiddetti «coni di scavo» (*cutting cones*), che vengono successivamente riempiti dagli osteoblasti con nuovo tessuto osseo. Si formano così nuovi osteoni che ripristinano la continuità dell'osso; per tale ragione la guarigione primaria è detta anche osteonale [6, 7].

### *1.3.2 Guarigione indiretta (secondaria)*

Quando i frammenti non sono a stretto contatto e mantengono un certo grado di mobilità controllata, in condizioni di **stabilità relativa** (gesso, fissatore esterno, chiodo endomidollare, placca a ponte), la guarigione avviene per seconda intenzione attraverso la formazione di un callo osseo. I micromovimenti interframmentari, entro certi limiti, stimolano la formazione del callo [8, 9]. Si tratta della modalità di guarigione più frequente e si articola in quattro fasi distinte ma sovrapposte [7, 10]:

1. **Fase infiammatoria (0-7 giorni).** La rottura dei vasi endostali, periostali e dei tessuti circostanti determina la formazione dell'ematoma di frattura. Neutrofili e macrofagi infiltrano l'area per rimuovere detriti cellulari e tessuti necrotici. L'ipossia, la necrosi cellulare e il rilascio di citochine e fattori di crescita, tra cui TGF-β, BMP, PDGF e VEGF, attivano e reclutano le cellule deputate alla riparazione [10, 11].

2. **Formazione del callo molle (1-3 settimane).** Si sviluppa una neoangiogenesi che ripristina l'apporto di ossigeno e nutrienti. Le cellule staminali mesenchimali migrano nell'ematoma e si differenziano in fibroblasti e condroblasti, che sintetizzano collagene e matrice extracellulare, formando un callo prevalentemente fibrocartilagineo che riduce la mobilità dei monconi.
3. **Formazione del callo duro (3-12 settimane).** I condrociti vanno incontro a ipertrofia e apoptosi, la matrice cartilaginea si calcifica e viene invasa da vasi e osteoblasti, che la sostituiscono con osso a fibre intrecciate (ossificazione endocondrale). La frattura diventa progressivamente più stabile e capace di sopportare il carico [12].
4. **Rimodellamento (mesi-anni).** L'osso a fibre intrecciate viene progressivamente sostituito da osso lamellare maturo grazie all'azione accoppiata di osteoclasti e osteoblasti. Forma e struttura del segmento si adattano ai carichi meccanici, secondo la legge di Wolff, fino al recupero delle proprietà meccaniche originarie [13, 14].

La guarigione può essere compromessa da fattori biologici (età, fumo, diabete, farmaci, stato nutrizionale), meccanici (instabilità o, al contrario, eccessiva rigidità) e locali (entità del danno ai tessuti molli, perdita di sostanza ossea, infezione), che costituiscono i principali fattori di rischio per ritardo di consolidazione e pseudoartrosi [15].

## 1.4 Fratture scomposte

### *1.4.1 Definizione*

Nelle fratture scomposte i frammenti perdono il reciproco allineamento anatomico. Lo spostamento impedisce una consolidazione in posizione corretta e rende necessario il ripristino, incruento o chirurgico, dei rapporti anatomici.

### *1.4.2 Principali problematiche e rischi*

- **Lesioni neurovascolari:** i frammenti dislocati possono comprimere o lacerare strutture nervose e vascolari adiacenti.
- **Sindrome compartimentale:** l'aumento della pressione all'interno di un compartimento fasciale, secondario a edema ed ematoma, può determinare un'ischemia tissutale irreversibile se non trattato tempestivamente con fasciotomia.

- **Vizio di consolidazione:** saldatura dei monconi in posizione non anatomica, con alterazione degli assi meccanici dell'arto.
- **Pseudoartrosi:** mancata consolidazione della frattura, senza segni di progressione della guarigione, a distanza di tempo dall'evento lesivo.

### *1.4.3 Opzioni di trattamento*

Il trattamento delle fratture scomposte mira al ripristino della lunghezza, dell'asse e della rotazione del segmento e della congruenza articolare, prevenendo complicanze a lungo termine come i vizi di consolidazione e la pseudoartrosi. Il percorso terapeutico si articola in due fasi: la riduzione del focolaio e il mantenimento della riduzione (contenzione o fissazione) [1]. Le strategie disponibili sono tre:

- **Riduzione incruenta e immobilizzazione:** i frammenti vengono riallineati mediante trazione e manovre esterne, seguite da contenzione in apparecchio gessato o tutore rigido.
- **Riduzione cruenta e fissazione interna (ORIF, *open reduction and internal fixation*):** il focolaio viene esposto chirurgicamente e stabilizzato con mezzi di sintesi (placche e viti, chiodi endomidollari, fili di Kirschner, cerchiaggi). È indicata quando lo spostamento è marcato, quando è coinvolta una superficie articolare o in caso di fallimento della riduzione incruenta.
- **Fissazione esterna:** consiste nell'inserimento di fiches o fili a monte e a valle della frattura, collegati a un telaio esterno. È la metodica di scelta nei traumi complessi, nei politraumatizzati e in presenza di gravi lesioni dei tessuti molli.

### *1.4.4 Quadri clinici combinati*

Combinando i criteri di esposizione e di spostamento, nella pratica clinica si possono osservare quattro quadri:

- **Composta e chiusa:** allineamento conservato e integrità del rivestimento cutaneo (ad esempio fratture da stress o infrazioni semplici).
- **Scomposta e chiusa:** dislocazione dei frammenti con cute e tessuti molli integri.
- **Scomposta ed esposta:** perdita di allineamento associata a lesione cutanea comunicante con il focolaio; è tipica dei traumi ad alta energia.

- **Composta ed esposta:** un agente esterno penetra la cute raggiungendo l'osso (ad esempio ferite da arma da fuoco o da punta) senza determinare uno spostamento significativo dei monconi.

# 2. LE FRATTURE ESPOSTE

## 2.1 Definizione ed epidemiologia

Si definisce esposta una frattura in cui l'osso fratturato e/o l'ematoma di frattura comunicano con l'ambiente esterno attraverso una lesione traumatica della cute e dei tessuti molli [5]. La ferita non si trova necessariamente in corrispondenza del focolaio: ogni frattura associata a una ferita dello stesso segmento deve essere considerata esposta fino a prova contraria.

L'incidenza delle fratture esposte nell'adulto è stimata in circa 30 casi ogni 100.000 abitanti all'anno. Esse interessano prevalentemente giovani adulti di sesso maschile coinvolti in traumi ad alta energia, in primo luogo incidenti stradali, mentre nell'anziano sono più frequenti le fratture esposte da traumi a bassa energia. La tibia è il segmento più frequentemente coinvolto tra le ossa lunghe [16].

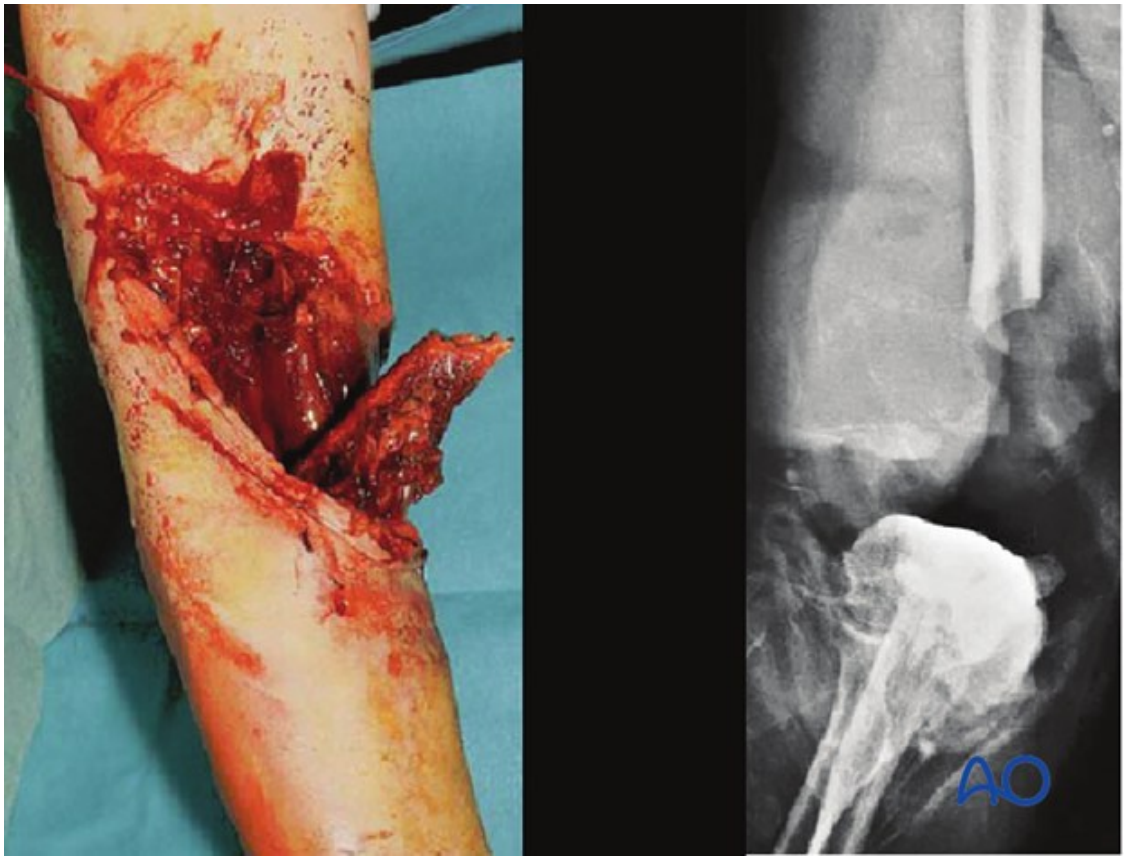



*Figura 1: Frattura esposta. Fonte: AO Foundation Surgery Reference [S1].*

## 2.2 Classificazione di Gustilo-Anderson

Il sistema più utilizzato per classificare le fratture esposte è quello proposto da Gustilo e Anderson nel 1976 [17] e successivamente modificato da Gustilo, Mendoza e Williams nel 1984 con la suddivisione del tipo III in tre sottogruppi [18]. La classificazione considera l'estensione della ferita, il grado di contaminazione, l'entità del danno ai tessuti molli, la complessità della frattura e la presenza di lesioni vascolari (Tabella 1). Il grado deve essere assegnato in via definitiva in sala operatoria, dopo il debridement, poiché la sola valutazione della ferita in Pronto Soccorso tende a sottostimare la gravità della lesione. La classificazione ha inoltre una concordanza interosservatore solo moderata (circa 60%) [19].

*Tabella 1 – Classificazione di Gustilo-Anderson delle fratture esposte [17, 18, 20].*

| Tipo | Caratteristiche |
|---|---|
| I | Ferita < 1 cm, pulita, con minima contaminazione; danno dei tessuti molli minimo; frattura semplice (trasversa o obliqua breve). |
| II | Ferita > 1 cm senza estesi danni dei tessuti molli, lembi o avulsioni; contaminazione moderata; comminuzione moderata. |
| III | Ferita generalmente > 10 cm con esteso danno dei tessuti molli, elevata contaminazione e comminuzione; trauma ad alta energia (inclusi ferite da arma da fuoco ad alta velocità, traumi in ambiente agricolo, fratture segmentarie). |
| IIIA | Nonostante l'estesa lacerazione, la copertura dell'osso con i tessuti molli è adeguata. |
| IIIB | Estesa perdita di tessuti molli con scollamento periostale ed esposizione ossea; è necessaria una procedura di copertura (lembo locale o libero). |
| IIIC | Frattura esposta associata a lesione arteriosa che richiede riparazione, indipendentemente dall'entità del danno dei tessuti molli. |

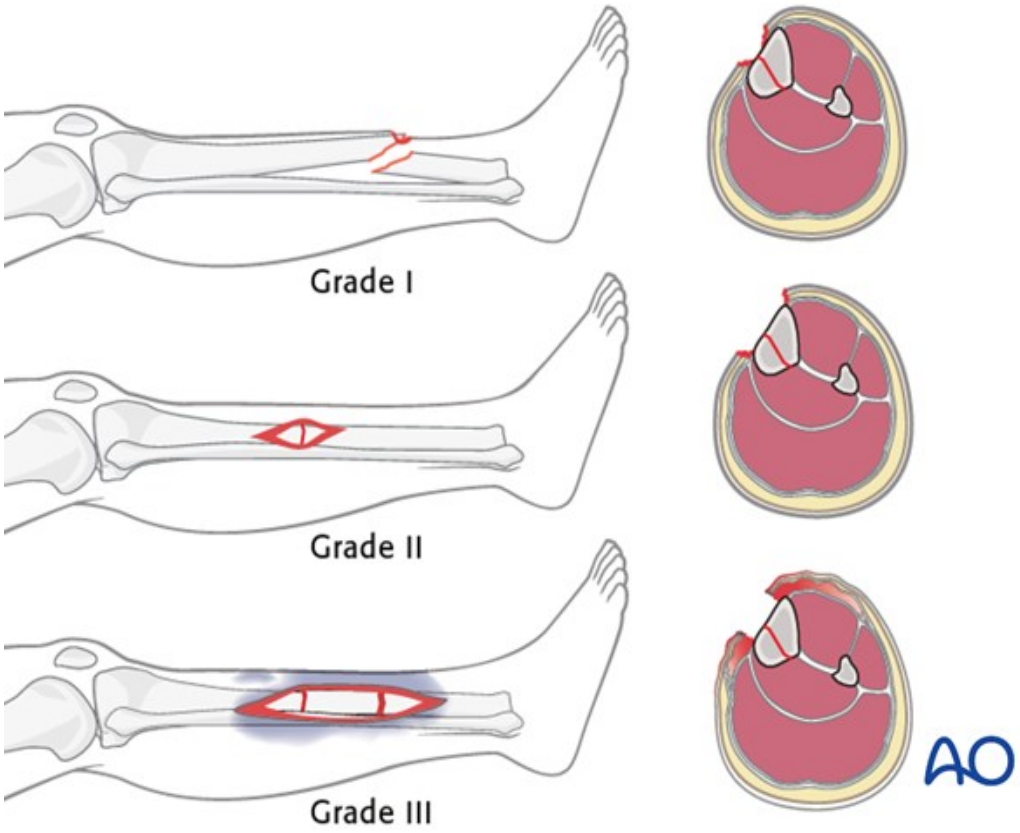



*Figura 2: Illustrazione della classificazione Gustilo Anderson per le fratture esposte. Fonte: AO Foundation Surgery Reference [S1].*

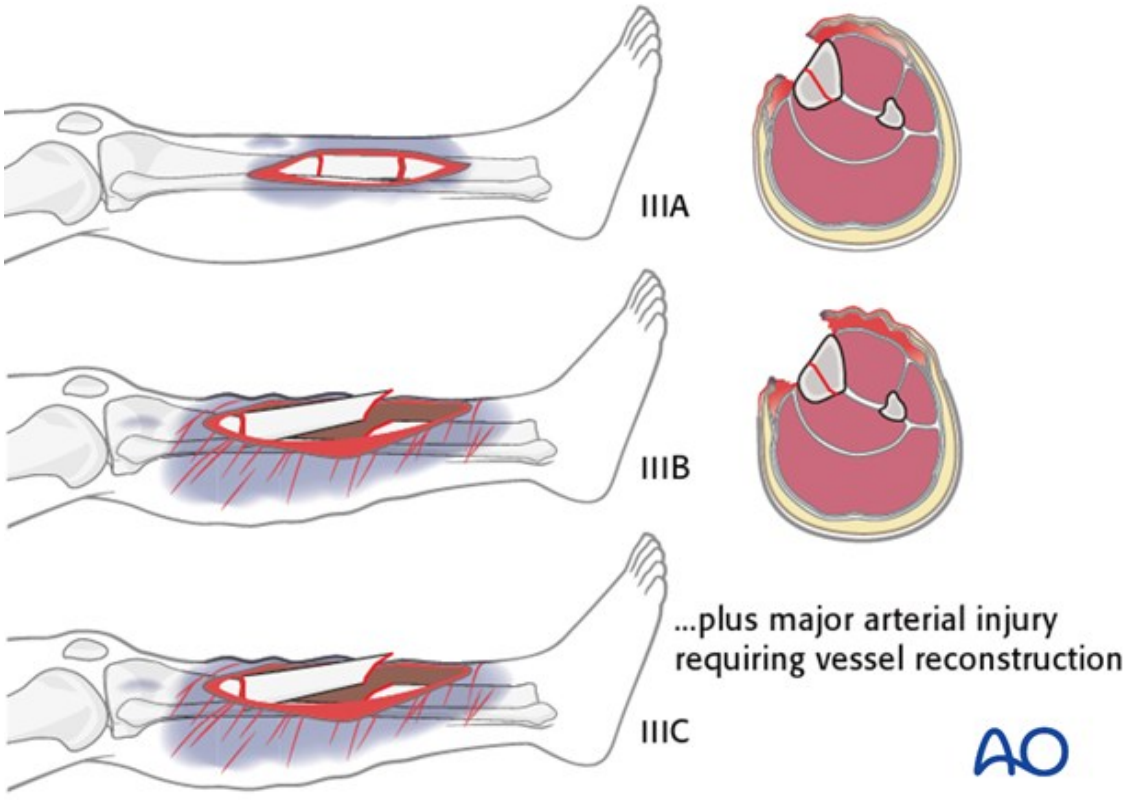



*Figura 3: Illustrazione sottoclassificazione Gustilo-Anderson per il grado III.*

*Fonte: AO Foundation Surgery Reference [S1].*

## 2.3 Principali problematiche e rischi

Le fratture esposte sono lesioni ad elevata complessità, gravate da un alto tasso di complicanze precoci e tardive [21, 22]:

- **Infezioni acute e croniche:** la contaminazione batterica diretta del focolaio può evolvere in infezione del sito di frattura (FRI, *fracture-related infection*), osteomielite e, nei casi più severi, sepsi o amputazione dell'arto. Il rischio cresce con il grado di Gustilo-Anderson: nella serie originaria era pari allo 0-2% per il tipo I, al 2-7% per il tipo II e al 10-25% per il tipo III, fino al 50% nei tipi IIIB e IIIC [17, 18, 23].
- **Ritardi di consolidazione e pseudoartrosi:** il danno alla vascolarizzazione periostale e la sofferenza dei tessuti molli circostanti compromettono i fisiologici processi di riparazione ossea.
- **Esiti invalidanti:** complicanze infettive e strutturali possono determinare limitazioni funzionali permanenti, con importanti ricadute sulla qualità di vita e sulla capacità lavorativa del paziente [24].

Per rendere confrontabili gli studi, un gruppo internazionale di esperti ha proposto nel 2018 una definizione condivisa di FRI, basata su criteri *confermativi* (fistola, deiscenza della ferita con esposizione dell'impianto o comunicazione con l'osso, pus, isolamento di un patogeno fenotipicamente indistinguibile in almeno due campioni profondi, segni istologici) e criteri *suggestivi* (segni clinici, radiologici e di laboratorio) [25].

## 2.4 Management clinico-chirurgico

Le fratture esposte costituiscono un'emergenza traumatologica. Gli obiettivi del trattamento sono la prevenzione dell'infezione, la consolidazione della frattura e il recupero della funzione dell'arto. L'approccio ottimale prevede una stretta collaborazione ortoplastica e si fonda sui seguenti pilastri [21, 26, 27]:

- **Profilassi antibiotica precoce:** la somministrazione endovenosa dovrebbe avvenire il prima possibile, idealmente entro un'ora dal trauma; nelle fratture di tipo III un ritardo oltre i 66 minuti si associa a un aumento significativo del tasso di infezione [28].

- **Debridement chirurgico e irrigazione:** rimozione accurata dei tessuti devitalizzati e contaminati e lavaggio abbondante del focolaio. L'accuratezza del debridement conta più dell'intervallo temporale in senso stretto: nello studio LEAP il tempo al debridement non era un fattore predittivo indipendente di infezione [29], mentre lo studio FLOW ha dimostrato che l'irrigazione a bassa pressione con soluzione fisiologica è sufficiente e che l'aggiunta di sapone non offre vantaggi [30].
- **Stabilizzazione precoce del focolaio:** protegge i tessuti molli, riduce il dolore e facilita l'assistenza; può essere temporanea (fissatore esterno) o definitiva, in relazione alle condizioni del paziente e della ferita.
- **Copertura precoce dei tessuti molli:** la copertura definitiva, se necessario mediante lembi locali o liberi, dovrebbe essere ottenuta entro 72 ore-7 giorni. Dopo i lavori di Godina e il concetto di *fix and flap*, la copertura precoce si è affermata come uno dei principali fattori di riduzione dell'infezione e della pseudoartrosi [31, 32]. La terapia a pressione negativa (NPWT) è utile come medicazione temporanea, ma non ha dimostrato di migliorare gli esiti rispetto alla medicazione standard [33].

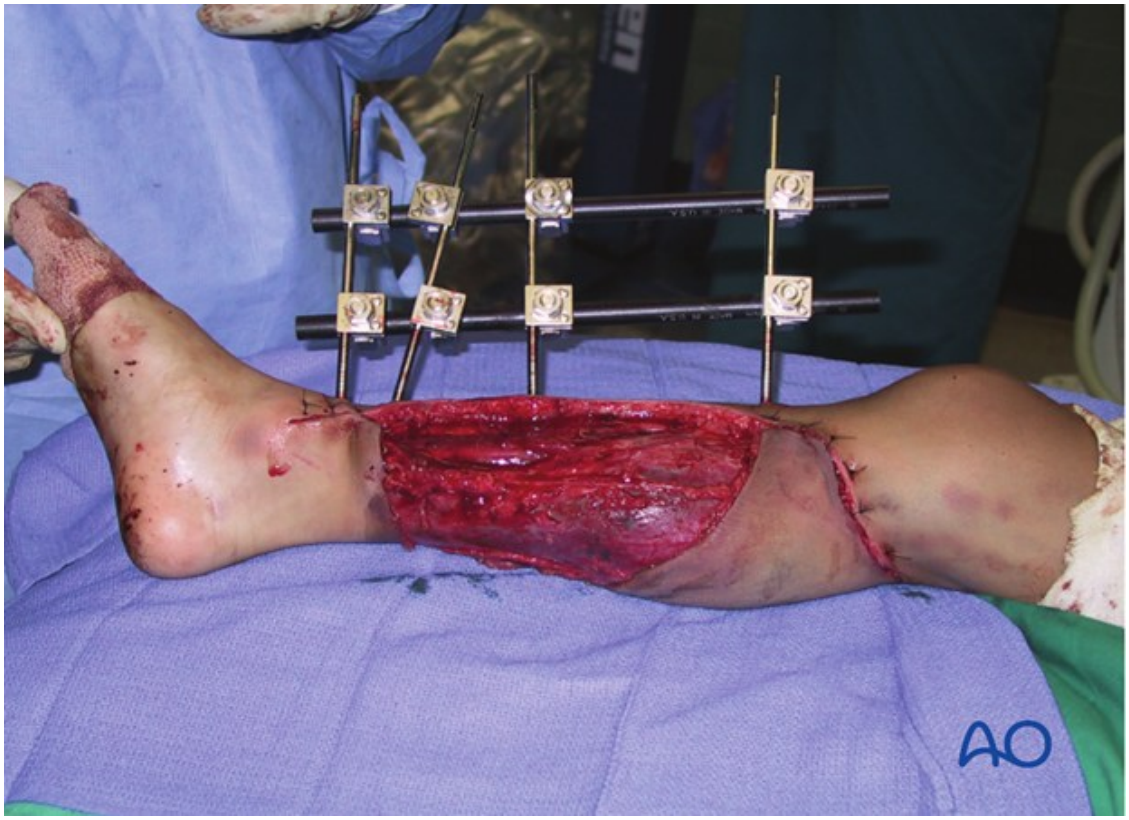



*Figura 4: Fissazione esterna di frattura esposta.*

*Fonte: AO Foundation Surgery Reference [S1].*

# 3. DAMAGE CONTROL ORTHOPAEDICS

Il Damage Control Orthopaedics (DCO) è una strategia chirurgica a tappe indicata nei pazienti traumatizzati instabili o a rischio di instabilità, nei quali un intervento maggiore e prolungato potrebbe aggravare le condizioni generali: pazienti con fratture di bacino e/o delle ossa lunghe associate a instabilità emodinamica, politraumatizzati gravi e pazienti con la cosiddetta triade letale (acidosi, ipotermia e coagulopatia). Il DCO privilegia procedure temporanee, rapide e minimamente invasive, finalizzate al controllo dell'emorragia e alla stabilizzazione provvisoria delle fratture, generalmente mediante fissazione esterna, rinviando la sintesi definitiva a un momento di maggiore stabilità fisiologica [34-36].

## 3.1 Il concetto di second hit e la finestra di opportunità

Il razionale del DCO deriva dalla necessità di evitare il cosiddetto «second hit» chirurgico. Il trauma iniziale («first hit») induce una risposta infiammatoria sistemica; un intervento ortopedico definitivo, lungo ed emorragico, eseguito nell'immediato post-trauma, può amplificare tale risposta (SIRS) e aumentare il rischio di complicanze severe quali ARDS, insufficienza multiorgano (MOF) e shock [37, 38].

Dopo la stabilizzazione temporanea il paziente viene trasferito in Terapia Intensiva per il ripristino dell'omeostasi emodinamica e metabolica. Superata la fase critica, in un intervallo definito «finestra di opportunità» (generalmente tra il 5° e il 10° giorno dal trauma), è possibile procedere con l'osteosintesi definitiva; tra il 2° e il 4° giorno, al contrario, la risposta immuno-infiammatoria è ancora intensa e gli interventi maggiori andrebbero evitati [39, 40].

## 3.2 Le tre fasi del DCO

Il protocollo DCO si articola in tre fasi sequenziali [35, 41]:

1. **Fase I – rianimazione e stabilizzazione temporanea:** manovre salvavita, controllo dell'emorragia, debridement iniziale delle lesioni esposte e stabilizzazione rapida delle fratture mediante fissazione esterna.
2. **Fase II – ottimizzazione in Terapia Intensiva:** stabilizzazione emodinamica, correzione di ipotermia, coagulopatia e acidosi metabolica, monitoraggio continuo.

3. **Fase III – chirurgia definitiva:** fissazione e ricostruzione definitiva a paziente stabilizzato.

## 3.3 DCO ed Early Total Care

Nei pazienti che giungono in condizioni di stabilità emodinamica la strategia di elezione è rappresentata dall'Early Total Care (ETC), ovvero il trattamento definitivo di tutte le fratture maggiori entro le prime 24 ore. La stabilizzazione precoce delle fratture di femore riduce l'incidenza di complicanze polmonari, la durata della degenza e le complicanze legate all'allettamento [42]. Uno studio randomizzato multicentrico ha tuttavia mostrato che, nei pazienti «borderline», l'inchiodamento endomidollare primario del femore si associa a un rischio maggiore di danno polmonare rispetto alla fissazione esterna temporanea [43].

Negli ultimi anni si è affermato il concetto di Early Appropriate Care (EAC), che propone di eseguire la fissazione definitiva entro 36 ore nei pazienti la cui rianimazione sia adeguata secondo parametri oggettivi (lattati $< 4$ mmol/L, pH $\geq 7{,}25$, base excess $\geq -5{,}5$ mmol/L) [44]. La scelta tra DCO ed ETC/EAC si basa quindi su una valutazione dinamica dello stato fisiologico del paziente, guidata da parametri di perfusione tissutale (lattati, base excess), di coagulazione, di temperatura e di entità dei traumi associati [40, 45].

# 4. LA FISSAZIONE ESTERNA

La fissazione esterna è una metodica di stabilizzazione in cui fiches o fili vengono inseriti nell'osso a monte e a valle della frattura e collegati a un telaio esterno. Nelle fratture esposte rappresenta spesso il trattamento iniziale, poiché consente di stabilizzare rapidamente il focolaio senza introdurre materiale nella zona di lesione e lascia libero accesso alla ferita per le medicazioni, i debridement successivi e le procedure di copertura [46, 47].

## 4.1 Cenni storici

Nel corso dell'ultimo secolo la fissazione esterna ha attraversato una profonda evoluzione:

- **Le origini:** nel 1840 il chirurgo francese Jean-François Malgaigne ideò un uncino metallico regolabile per le fratture di rotula e, successivamente, un dispositivo a punte per la tibia, introducendo il principio di stabilizzare l'osso dall'esterno.
- **Inizio del XX secolo:** Clayton Parkhill (1897) negli Stati Uniti e Albin Lambotte (1902-1907) in Belgio svilupparono i primi fissatori monolaterali; Lambotte coniò il termine «fissatore esterno». Nel 1938 Raoul Hoffmann introdusse il concetto di modularità con morsetti a snodo sferico e barre.
- **La rivoluzione circolare (anni '50-'80):** in Siberia Gavriil Abramovič Ilizarov sviluppò il fissatore circolare ad anelli e fili di Kirschner tensionati e descrisse l'osteogenesi per distrazione (legge di tensione-stress), dimostrando che l'osso può rigenerarsi se sottoposto a una trazione lenta e graduale in condizioni di stabilità [48].
- **L'era moderna (dagli anni '90 a oggi):** sono stati introdotti i fissatori esapodali assistiti da software e le fiches con rivestimento bioattivo in idrossiapatite; la fissazione esterna è diventata un pilastro del DCO e della chirurgia ricostruttiva degli arti.

## 4.2 Evoluzione concettuale

Inizialmente concepita come soluzione di salvataggio da riservare ai casi con grave compromissione dei tessuti molli o elevata contaminazione, la fissazione esterna è stata a lungo gravata da un'alta incidenza di complicanze, quali la mobilizzazione delle fiches

(*pin loosening*), le infezioni dei tramiti (*pin tract infections*) e i ritardi di consolidazione [49]. Negli ultimi decenni il perfezionamento dei materiali, l'ottimizzazione del design dei componenti e una più profonda comprensione della biomeccanica e della biologia della guarigione ossea l'hanno trasformata in una tecnica sicura, versatile e riproducibile [50, 51]. I moderni telai consentono di modulare la rigidità del montaggio e di concedere micromovimenti assiali che favoriscono la formazione del callo, mentre le fiches rivestite in idrossiapatite e protocolli codificati di cura dei tramiti hanno ridotto il rischio di complicanze [52, 53]. Oggi la fissazione esterna rappresenta uno dei pilastri della traumatologia moderna, sia nella gestione in acuto secondo i principi del DCO sia nei trattamenti definitivi di ricostruzione ossea e di correzione di deformità complesse; trova inoltre indicazione nelle fratture esposte dell'arto superiore [54, 55].

## 4.3 Principi biomeccanici

Indipendentemente dalla configurazione (monolaterale a fiches, circolare ad anelli e fili, ibrida), l'applicazione sicura di un fissatore esterno si basa su tre principi fondamentali [46, 51]:

1. **Rigidità del montaggio.** La stabilità del telaio aumenta riducendo la distanza tra l'osso e le barre di connessione, aumentando il diametro delle fiches, il loro numero e la distanza tra le fiches dello stesso frammento (posizionando una fiche vicino e una lontano dalla rima), e utilizzando configurazioni multiplanari. Nelle fratture esposte le fiches vanno posizionate a distanza di sicurezza dal focolaio e dalla ferita, in modo da non interferire con i successivi interventi (debridement, copertura, sintesi definitiva) e da non contaminare la zona della futura osteosintesi.
2. **Stabilità dinamica e micromovimento assiale.** Le sollecitazioni di taglio e di flessione ritardano la guarigione, mentre un micromovimento controllato in senso assiale stimola la formazione del callo. Per questo, in una fase avanzata del trattamento, il telaio può essere «dinamizzato». I fissatori circolari a fili tensionati offrono elevata rigidità a flessione e torsione ma consentono una certa elasticità assiale, favorendo il carico precoce [48, 56].
3. **Integrità dell'interfaccia osso-fiche.** Il punto critico di qualsiasi fissatore è la tenuta dell'ancoraggio nell'osso. La perdita di tenuta genera micromovimenti, mobilizzazione e infezione del tramite. Il corretto posizionamento prevede la

perforazione a bassa velocità con irrigazione per evitare la necrosi termica, il pre-tensionamento dei fili nei sistemi circolari, l'uso di fiches rivestite in idrossiapatite e l'inserimento attraverso corridoi sicuri, evitando i tessuti contaminati o sottoposti a debridement [52, 53].

## 4.4 Tipi di fissatori esterni

In base alla struttura del telaio si distinguono [47, 56]:

- **Fissatori monolaterali (lineari):** un'unica barra parallela all'osso a cui sono collegate le fiches; di rapida applicazione e poco ingombranti, sono impiegati nelle fratture diafisarie delle ossa lunghe e nel DCO, ma garantiscono una minore stabilità tridimensionale.
- **Fissatori circolari:** anelli metallici o in fibra di carbonio che circondano l'arto, collegati da barre, con l'osso ancorato mediante fili di Kirschner tensionati o fiches. Sono indicati nelle ricostruzioni ossee complesse, negli allungamenti, nelle correzioni di deformità e nel trattamento delle pseudoartrosi e delle infezioni ossee. Più complessi da applicare, offrono elevata stabilità e consentono il carico precoce.
- **Fissatori ibridi:** combinano elementi circolari e monolaterali; sono molto utilizzati nelle fratture metaepifisarie vicine alle articolazioni, dove lo spazio per l'ancoraggio è limitato.
- **Fissatori a ponte (trans-articolari) e articolati:** scavalcano un'articolazione per stabilizzare fratture periarticolari complesse; i modelli articolati presentano uno snodo allineato all'asse di movimento e permettono una mobilizzazione protetta.

In base alla disposizione rispetto all'arto si distinguono inoltre sistemi **unilaterali**, in cui le fiches non attraversano completamente l'arto (meno invasivi e meglio tollerati), e **bilaterali**, in cui fili o fiches trapassano l'arto da parte a parte (più stabili ma con maggior rischio di lesioni neurovascolari e maggiore ingombro). Infine, i montaggi possono essere **monoplanari**, con tutte le fiches su un unico piano, oppure **multiplanari**, con fiches inserite su piani diversi, che distribuiscono le forze in modo tridimensionale e aumentano la resistenza alla torsione e alla flessione.

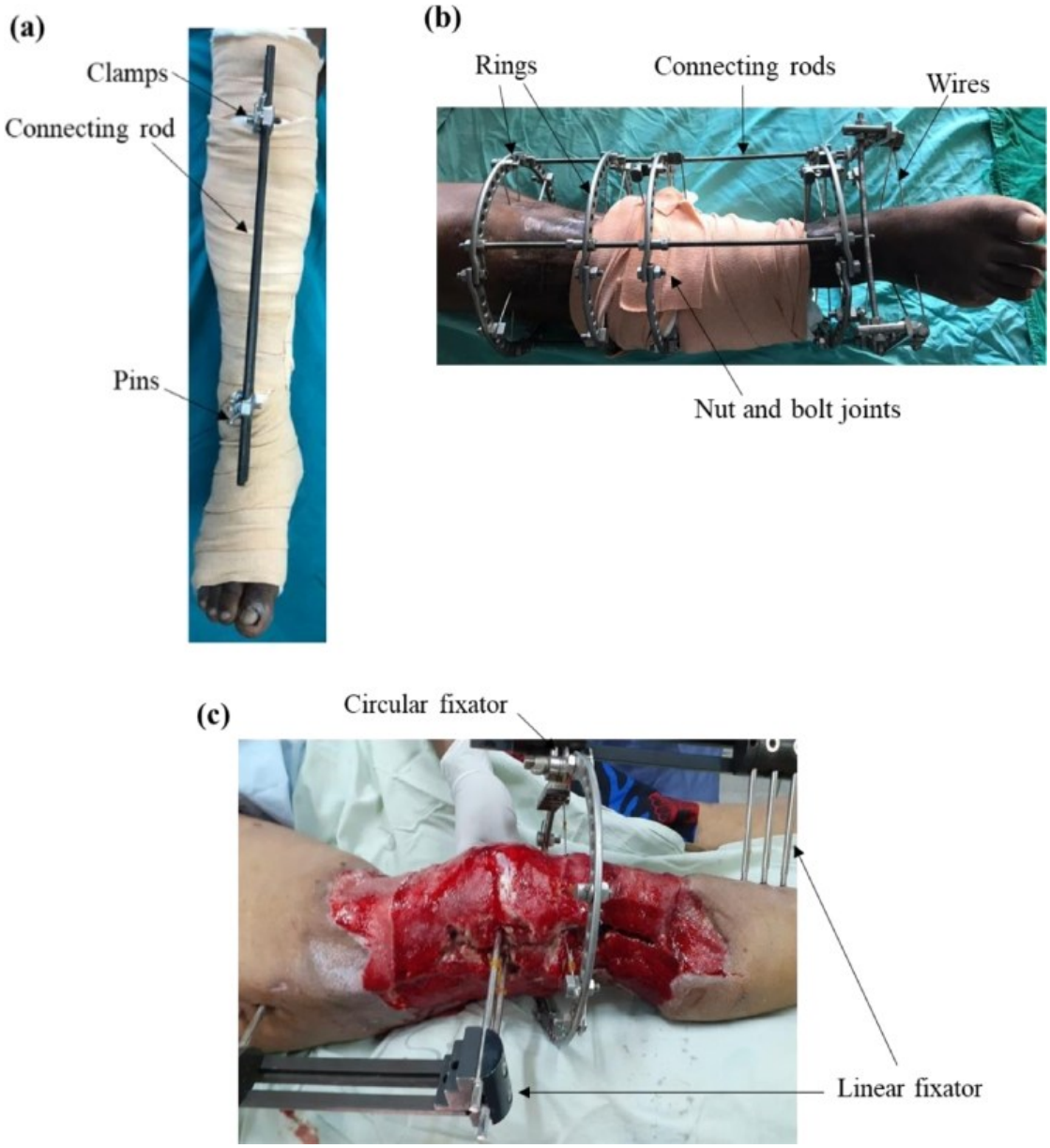



*Figura 5: fotografia di fissatore esterno lineare (a), circolare (b) e ibrido (c).*

*Fonte: Fernando PLN, Abeygunawardane A, Wijesinghe P, Dharmaratne P, Silva P. An engineering review of external fixators, 2021 [57].*

## 4.5 Materiali

I componenti dei fissatori esterni sono realizzati in materiali diversi a seconda della loro funzione [57]:

- **Fiches e fili:** a diretto contatto con la cute e l'osso, richiedono elevata biocompatibilità, resistenza meccanica e resistenza alla corrosione. Si utilizzano acciaio inossidabile per uso medicale e leghe di titanio; le fiches rivestite in idrossiapatite migliorano l'osteointegrazione e riducono la mobilizzazione e le infezioni dei tramiti [52].
- **Telaio:** sostiene il carico meccanico e non è a contatto con i tessuti. Si impiegano polimeri rinforzati con fibra di carbonio (radiotrasparenti e leggeri), leghe di alluminio, acciaio inossidabile e materiali compositi ad alte prestazioni.

## 4.6 Complicanze

Le complicanze della fissazione esterna possono essere classificate in base al momento di insorgenza (precoci e tardive) e alla natura (settiche, meccaniche, neurovascolari e dei tessuti molli, osteobiologiche) [47, 49, 58].

### *4.6.1 Complicanze settiche*

- **Infezione dei tramiti delle fiches (*pin tract infection*):** è la complicanza più frequente, con un'incidenza riportata in letteratura estremamente variabile (dal 10% a oltre il 40% dei pazienti), anche per l'assenza di una definizione univoca [53, 59]. La classificazione di Checketts-Otterburn ne descrive la gravità [60]: i gradi 1-3 corrispondono a infezioni superficiali (arrossamento, secrezione sierosa o purulenta, cellulite), trattabili con cura locale e antibiotici per via orale; i gradi 4-6 corrispondono a infezioni profonde con osteite, mobilizzazione della fiche e, nei casi più gravi, osteomielite, che richiedono la rimozione o il riposizionamento della fiche, eventuale toilette chirurgica e antibioticoterapia mirata.
- **Osteomielite:** evoluzione dell'infezione profonda del tramite, favorita da patogeni produttori di biofilm; può estendersi al canale midollare e condizionare la successiva sintesi interna.
- **Artrite settica:** si verifica in caso di posizionamento intracapsulare di fiches o fili.

### *4.6.2 Complicanze meccaniche*

- **Mobilizzazione delle fiches (*pin loosening*):** dovuta al riassorbimento osseo all'interfaccia per sollecitazioni eccessive, micromovimenti non fisiologici o necrosi termica da errata tecnica di perforazione; richiede il riposizionamento della fiche o la revisione del telaio.
- **Cedimento del telaio:** deformazione o rottura di barre, anelli, fili o morsetti con perdita della riduzione.
- **Rifrattura dopo la rimozione:** legata a un'incompleta maturazione del callo, ai fori delle fiches che fungono da punti di debolezza o a fenomeni di osteopenia da scarico (*stress shielding*) in caso di montaggi eccessivamente rigidi [61].

### *4.6.3 Complicanze neurovascolari e dei tessuti molli*

- **Lesioni neurovascolari iatrogene:** durante l'inserimento percutaneo di fiches e fili, prevenibili rispettando i corridoi di sicurezza anatomici.
- **Ancoraggio dei tessuti molli (*tethering*):** l'attraversamento di muscoli e tendini da parte di fili o fiches ne impedisce lo scorrimento, favorendo contratture e rigidità.
- **Sindrome compartimentale.**

### *4.6.4 Disturbi della consolidazione*

- **Pseudoartrosi:** può essere atrofica, legata a un deficit biologico (devascolarizzazione dei frammenti, ampio gap, interposizione di tessuti molli, eccessiva distrazione), oppure ipertrofica, legata a un'eccessiva instabilità meccanica. Il trattamento comprende la dinamizzazione del fissatore, l'innesto osseo o la revisione della sintesi.
- **Vizio di consolidazione:** guarigione in deviazione angolare o rotatoria o con accorciamento, per riduzione imperfetta o perdita progressiva di tenuta del telaio.
- **Rigidità articolare:** artrofibrosi e riduzione dell'articolarità secondarie all'immobilizzazione prolungata (soprattutto nei montaggi a ponte) o all'ancoraggio muscolare, da trattare con fisioterapia ed eventualmente con procedure chirurgiche di svincolo.

## 4.7 Conversione della fissazione esterna in interna

La conversione consiste nella rimozione del fissatore esterno e nella sua sostituzione con una sintesi interna (chiodo endomidollare o placca e viti) una volta che le condizioni generali del paziente e lo stato dei tessuti molli lo consentano. Rispetto alla fissazione esterna definitiva, la conversione favorisce un migliore allineamento, un più rapido recupero funzionale e una maggiore tollerabilità da parte del paziente [62].

Il principale timore legato alla conversione è la contaminazione del canale midollare o della zona di sintesi da parte dei tramiti delle fiches. La letteratura suggerisce che il rischio di infezione è contenuto quando la fissazione esterna viene mantenuta per un periodo breve: nella casistica di Nowotarski et al. la conversione a inchiodamento endomidollare di fratture diafisarie di femore, eseguita dopo una durata media di fissazione esterna di 7 giorni, si associava a un tasso di infezione dell'1,7% [63]. La metanalisi di Bhandari et al. ha evidenziato che una durata della fissazione esterna inferiore a 28 giorni riduce il rischio di infezione di circa l'83% e che il rischio aumenta in presenza di infezioni dei tramiti [64]. Dati più recenti confermano che la conversione è sicura quando eseguita precocemente e in assenza di infezione dei tramiti [65]. Qualora sia presente un'infezione dei tramiti, alcuni autori propongono un intervallo libero da fissazione («pin holiday»), con immobilizzazione temporanea in apparecchio gessato o trazione, prima della sintesi definitiva.

# 5. LA FISSAZIONE INTERNA

Quando il trattamento conservativo non è sufficiente, tipicamente nelle fratture instabili, significativamente scomposte, articolari o esposte, è indicato un intervento chirurgico di riduzione e sintesi con dispositivi impiantati all'interno dell'organismo. La fissazione interna va scelta quando i benefici attesi superano i rischi dell'intervento e deve tenere conto del momento chirurgico: un importante edema o un danno dei tessuti molli possono rendere preferibile rinviare la sintesi definitiva, ricorrendo temporaneamente a una stabilizzazione esterna [1, 2].

## 5.1 Principali indicazioni

- Fratture instabili o significativamente scomposte, per mantenere lunghezza, asse e rotazione.
- Fratture articolari scomposte, quando è necessaria una riduzione anatomica della superficie articolare non ottenibile con metodi incruenti.
- Fratture con malallineamento inaccettabile (deformità angolari, rotazionali, accorciamento) che comprometterebbe la funzione.
- Fratture che richiedono stabilità per consentire una mobilizzazione precoce del paziente, in particolare nel politraumatizzato.
- Fratture esposte, in cui il tipo e il momento della sintesi dipendono principalmente dalle condizioni dei tessuti molli e dalla gravità della lesione.
- Fratture associate a lesioni neurovascolari che richiedono esplorazione chirurgica.
- Fallimento del trattamento conservativo (perdita secondaria della riduzione, consolidazione in posizione non funzionale).

## 5.2 Obiettivi e principi biomeccanici

L'osteosintesi ha come obiettivo una stabilità sufficiente a garantire la consolidazione e, per quanto possibile, una mobilizzazione precoce. Le tecniche moderne hanno progressivamente spostato l'attenzione dalla sola stabilizzazione meccanica verso un equilibrio tra stabilità e rispetto della biologia (osteosintesi biologica), limitando il danno al periostio e ai tessuti molli e preservando la vascolarizzazione dei frammenti [8, 66]. Gli obiettivi dell'intervento possono essere così sintetizzati:

- ottenere un adeguato allineamento;
- garantire una stabilità adeguata al tipo di frattura;
- preservare la vascolarizzazione dei frammenti e limitare il danno ai tessuti molli;
- favorire la consolidazione;
- consentire, quando indicato, una mobilizzazione precoce e il recupero funzionale dell'arto.

Nelle fratture articolari e nelle fratture semplici, in cui è possibile una riduzione anatomica, si ricerca la **stabilità assoluta** mediante compressione interframmentaria, con eliminazione del movimento tra i frammenti e guarigione primaria. Nelle fratture diafisarie pluriframmentarie si ricerca invece la **stabilità relativa**, che consente un micromovimento controllato e porta a una guarigione secondaria con formazione di callo. La scelta concreta è comunque specifica per ogni distretto anatomico: le indicazioni per una frattura di radio distale differiscono da quelle per femore, tibia, caviglia o omero, e le linee guida delle principali società scientifiche sono organizzate per sede e tipologia di frattura [1].

## 5.3 Principali sistemi di fissazione interna

La progettazione degli impianti mira a ottenere una stabilità adeguata con il minimo danno biologico e considera la geometria dell'impianto, il materiale, la modalità di fissazione all'osso e la distribuzione delle forze tra osso e impianto durante il carico [67]. La scelta del dispositivo dipende dalla sede anatomica, dal tipo di frattura, dalla qualità dell'osso e dall'obiettivo biomeccanico.

### *5.3.1 Placche e viti*

La placca è un dispositivo metallico posizionato sulla superficie dell'osso e fissato mediante viti. Nelle placche convenzionali la stabilità dipende dall'attrito tra placca e osso generato dal serraggio delle viti: le viti comprimono la placca contro l'osso e la placca mantiene i frammenti nella posizione desiderata. Le placche a stabilità angolare (*locking plates*, LCP) funzionano diversamente: la testa filettata della vite si blocca nel foro della placca, creando un costrutto unico (fissatore interno) la cui stabilità non dipende dalla compressione della placca sull'osso [68]. Esse sono particolarmente utili nell'osso osteoporotico, nelle fratture pluriframmentarie e metaepifisarie [69] e possono essere

impiegate con funzione di ponte (*bridge plating*), anche con tecnica mininvasiva (MIPO), lasciando indisturbati i frammenti intermedi per favorire una guarigione indiretta.

### *5.3.2 Chiodi endomidollari*

I chiodi endomidollari vengono inseriti nel canale midollare e rappresentano il trattamento di scelta per la maggior parte delle fratture diafisarie di femore e tibia. Poiché sono posizionati vicino all'asse meccanico dell'osso, sopportano bene i carichi flessori e condividono il carico con l'osso (*load sharing*), consentendo spesso una mobilizzazione e un carico precoci. I chiodi moderni sono bloccati: viti trasversali prossimali e distali controllano rotazione, accorciamento e traslazione, mentre i chiodi non bloccati hanno oggi un ruolo marginale.

I chiodi possono essere classificati in base alla forma (rettilinei o curvi, con curvatura adattata all'anatomia del segmento), alla sede (femore, tibia, omero, avambraccio), alla direzione di inserimento (anterogradi o retrogradi; ad esempio, al femore il chiodo può essere inserito dall'estremo prossimale o attraverso il ginocchio) e alla tecnica di preparazione del canale (fresati o non fresati). Nello studio SPRINT sulle fratture diafisarie di tibia l'alesatura si è associata a un minor rischio di reintervento nelle fratture chiuse, mentre non sono emerse differenze significative nelle fratture esposte [70]. Nelle fratture della tibia distale extra-articolari placca e chiodo offrono risultati sostanzialmente sovrapponibili, con differenti profili di complicanze [71]. In definitiva la scelta tra chiodo e placca dipende dalla configurazione della frattura e dalle condizioni anatomiche e biologiche del paziente: non esiste un sistema di fissazione adatto a tutte le fratture.

## 5.4 Acciaio o titanio?

I materiali più utilizzati nella fissazione interna sono l'acciaio inossidabile e le leghe di titanio, con caratteristiche diverse da valutare caso per caso [72]. La rigidità di un materiale è espressa dal **modulo di Young** (modulo di elasticità), che indica quanto un materiale si deforma sotto un determinato carico: valori elevati indicano un materiale rigido, valori bassi un materiale più deformabile. L'osso corticale ha un modulo di circa 15-20 GPa, le leghe di titanio di circa 110 GPa e l'acciaio inossidabile di circa 200 GPa.

- **Rigidità:** il titanio, pur essendo molto più rigido dell'osso, si avvicina maggiormente alla sua elasticità e riduce il rischio di *stress shielding* rispetto all'acciaio.
- **Biocompatibilità:** il titanio forma spontaneamente in superficie uno strato stabile di biossido di titanio ($TiO_2$) che lo protegge dalla corrosione e favorisce l'adesione diretta degli osteoblasti (osteointegrazione). L'acciaio tende invece a essere circondato da una sottile capsula fibrosa e contiene nichel, i cui ioni, liberati per corrosione o sfregamento tra vite e placca, possono causare reazioni allergiche o da corpo estraneo.
- **Rimozione:** l'acciaio è in genere più semplice da rimuovere, grazie all'interfaccia fibrosa e alla minore tendenza al grippaggio delle filettature; il titanio, per l'elevata osteointegrazione e il fenomeno della «saldatura a freddo» (*cold welding*) tra vite e placca, può risultare tecnicamente più difficile da estrarre.

## 5.5 Complicanze della fissazione interna

### *5.5.1 Complicanze biologiche*

L'**infezione** è una delle complicanze più rilevanti della chirurgia delle fratture. Può interessare i soli tessuti superficiali oppure il focolaio e l'impianto, e può originare dalla contaminazione al momento del trauma (soprattutto nelle fratture esposte) o durante l'intervento. L'infezione dell'osso e dei tessuti circostanti ostacola la consolidazione, causando ritardi fino alla pseudoartrosi infetta. Il trattamento richiede terapie antibiotiche mirate e prolungate e, nei casi persistenti, ulteriori interventi di debridement o di rimozione dei mezzi di sintesi, in un contesto multidisciplinare. La letteratura ha sottolineato la necessità di definizioni uniformi di infezione del sito di frattura, poiché la terminologia utilizzata negli studi è stata storicamente eterogenea [25].

Il **ritardo di consolidazione** e la **pseudoartrosi** possono essere conseguenza dell'infezione, ma anche dell'instabilità meccanica, della complessità della frattura o della compromissione vascolare, cui contribuisce lo scollamento periostale necessario per l'applicazione di una placca con tecnica aperta [15]. Una riduzione non corretta può determinare un **vizio di consolidazione** con limitazioni funzionali, mentre l'immobilizzazione prolungata e le aderenze cicatriziali attorno a muscoli e tendini

possono causare **rigidità articolare**, soprattutto se la riabilitazione non viene avviata precocemente.

### *5.5.2 Complicanze meccaniche e legate ai materiali*

- **Stress shielding:** quando un impianto molto più rigido dell'osso si fa carico di gran parte delle sollecitazioni, l'osso sottostante, privato dello stimolo meccanico (legge di Wolff), va incontro a osteopenia da scarico. Per limitare il fenomeno si progettano impianti a rigidità ridotta (leghe di titanio, strutture porose) che favoriscano la condivisione del carico [67].
- **Rottura, mobilizzazione o deformazione dell'impianto:** legate alla qualità dell'osso, alla tecnica chirurgica, alla configurazione della frattura e, soprattutto, alla mancata consolidazione, che sottopone l'impianto a sollecitazioni cicliche fino al cedimento per fatica.
- **Intolleranza ai mezzi di sintesi:** nelle sedi sottocutanee (malleoli, clavicola, olecrano) la placca può causare fastidio locale, borsiti, sofferenza cutanea o dolore con le basse temperature.
- **Necessità di un secondo intervento per la rimozione dei mezzi di sintesi:** indicata in caso di infezione persistente, dolore cronico, intolleranza o nei pazienti in accrescimento. Dopo la rimozione i fori delle viti rappresentano temporaneamente punti di debolezza, fino al loro riempimento con nuovo tessuto osseo.

# 6. OBIETTIVI DELLO STUDIO

Il presente studio si propone di valutare gli outcome clinici e le complicanze delle fratture esposte e complesse trattate con strategia sequenziale, basata sulla fissazione esterna temporanea seguita dalla conversione a fissazione interna definitiva mediante osteosintesi con placca e viti o inchiodamento endomidollare. Gli obiettivi specifici sono:

- descrivere le caratteristiche demografiche e cliniche della popolazione e le caratteristiche delle lesioni, con particolare riferimento all'esposizione del focolaio e al grado di Gustilo-Anderson;
- determinare l'incidenza e la tipologia delle complicanze, sia legate alla fase di fissazione esterna sia successive alla conversione, con particolare attenzione alle complicanze infettive;
- analizzare la durata della fissazione esterna e l'intervallo tra fissazione esterna e sintesi definitiva, valutandone la relazione con lo sviluppo di complicanze;
- valutare gli esiti funzionali riportati al follow-up in relazione alla sede e all'esposizione della frattura, alle comorbidità e al tipo di impianto utilizzato;
- identificare possibili fattori associati all'insuccesso della conversione (durata della fissazione esterna, segni clinici o laboratoristici di infezione, grado di esposizione della frattura);
- confrontare i risultati con quelli riportati in letteratura, al fine di valutare la conformità del protocollo adottato agli standard internazionali.

# 7. MATERIALI E METODI

## 7.1 Disegno dello studio e setting

È stato condotto uno studio osservazionale retrospettivo monocentrico presso la SOD Clinica di Ortopedia Adulta e Pediatrica dell'Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche, sede di DEA di II livello e centro di riferimento regionale per il trauma maggiore. Sono stati analizzati i pazienti ricoverati tra il 2019 e il 2026 con una o più fratture conseguenti a politrauma o trauma maggiore e sottoposti a un protocollo chirurgico in due tempi, comprendente la stabilizzazione temporanea mediante fissazione esterna e la successiva conversione a osteosintesi interna definitiva.

Sono state analizzate le complicanze insorte durante il ricovero e gli esiti riscontrati ai controlli di follow-up. I dati sono stati confrontati con la letteratura internazionale per valutare la conformità del protocollo di conversione agli standard terapeutici e alle raccomandazioni vigenti, verificare la sicurezza della tempistica chirurgica adottata e identificare possibili fattori di rischio.

## 7.2 Criteri di inclusione ed esclusione

I criteri di selezione sono stati definiti per delimitare una coorte omogenea e limitare i fattori di confondimento.

**Criteri di inclusione:**

- età ≥ 15 anni;
- presenza di una o più fratture da trauma;
- trattamento primario mediante fissatore esterno e successiva conversione a fissazione interna;
- disponibilità di follow-up clinico e radiografico;
- documentazione clinica completa;
- trattamento primario e definitivo eseguiti presso la medesima struttura.

**Criteri di esclusione:**

- età < 15 anni;
- pazienti trattati con fissazione esterna definitiva o con sola fissazione interna;

- documentazione clinica o radiografica incompleta;
- mancata aderenza ai controlli di follow-up;
- patologie metaboliche dell'osso gravi preesistenti;
- fratture patologiche o lesioni ossee preesistenti.

## 7.3 Raccolta dei dati e variabili analizzate

I dati clinici e chirurgici sono stati estratti dalle cartelle cliniche informatizzate, dai registri operatori e dalle lettere di dimissione e di follow-up ambulatoriale. Per garantire l'anonimizzazione, nel rispetto della normativa vigente in materia di protezione dei dati personali, a ciascun paziente è stato attribuito un codice univoco (da P1 a P42), utilizzato in tutto il testo e nelle tabelle. Per ciascun paziente sono state registrate:

- **variabili demografiche e anamnestiche:** età, sesso, anno del trauma, meccanismo ed eziologia del trauma, anamnesi patologica remota quando disponibile;
- **variabili relative alla lesione:** sede anatomica, numero di segmenti coinvolti, pattern morfologico (biosseo, bifocale, pluriframmentario), esposizione e grado di Gustilo-Anderson quando riportato;
- **variabili chirurgiche:** tipo di fissatore esterno, giorno di applicazione rispetto al ricovero, durata della fissazione esterna, eventuale intervallo libero tra rimozione del fissatore e sintesi definitiva, tipo di fissazione interna;
- **variabili di outcome:** durata complessiva della degenza (somma dei ricoveri, quando il trattamento è stato eseguito in più ricoveri), complicanze intraospedaliere e al follow-up, esiti funzionali riportati.

## 7.4 Classificazione delle lesioni e definizione delle complicanze

Le fratture sono state classificate per sede anatomica, esposizione, scomposizione e coinvolgimento biosseo. Per le fratture esposte è stato registrato il grado di Gustilo-Anderson quando documentato in cartella [17, 18].

Le complicanze sono state suddivise nelle seguenti categorie, non mutuamente esclusive:

- **infezione del sito di frattura (FRI):** classificata come *confermata* in presenza di criteri confermativi secondo il consenso internazionale (isolamento colturale da campioni profondi intraoperatori, pus, fistola o esposizione dell'impianto) e come

*sospetta* in presenza di soli criteri suggestivi (segni clinici locali, febbre, necessità di revisione della ferita o di terapia antibiotica empirica) [25];

- **complicanze della ferita e dei tessuti molli:** necrosi cutanea, deiscenza, necessità di terapia a pressione negativa o di procedure di chirurgia plastica;
- **infezioni a distanza:** infezioni delle vie urinarie e colonizzazioni da germi multiresistenti;
- **tromboembolismo venoso (TEV):** trombosi venosa profonda e/o embolia polmonare, confermata o sospetta;
- **complicanze vascolari arteriose;**
- **complicanze neurologiche:** deficit sensitivi o motori periferici;
- **disturbi della consolidazione e reinterventi:** ritardo di consolidazione, pseudoartrosi, fallimento della sintesi, necessità di innesto osseo o di interventi non programmati;
- **esiti funzionali:** rigidità articolare e ossificazioni eterotopiche.

Sono state definite **complicanze locali** quelle a carico del segmento fratturato (FRI, complicanze della ferita, deficit neurologici, disturbi della consolidazione, reinterventi, rigidità, ossificazioni eterotopiche), distinte dalle **complicanze sistemiche** (TEV, infezioni a distanza, complicanze arteriose).

## 7.5 Protocollo chirurgico e gestione clinica

All'arrivo in Pronto Soccorso tutti i pazienti sono stati valutati secondo i principi ATLS (*Advanced Trauma Life Support*); a tutti è stato attribuito un codice di priorità rosso al triage. L'inquadramento sistemico e il profilo emodinamico hanno guidato l'indicazione chirurgica: trattandosi di pazienti in condizioni critiche o con lesioni locali non idonee a una sintesi definitiva immediata, classificati come borderline o instabili, è stata adottata una strategia di Damage Control Orthopaedics. I pazienti sono stati sottoposti in regime di emergenza-urgenza a debridement chirurgico, lavaggio del focolaio e stabilizzazione temporanea delle fratture mediante fissatore esterno, con inserimento percutaneo delle fiches a distanza dal focolaio e dalla ferita. I pazienti con instabilità emodinamica o traumi associati gravi sono stati successivamente trasferiti in Terapia Intensiva o Sub-Intensiva.

Il protocollo di gestione delle fiches ha previsto il rinnovo della medicazione sterile dopo 24-48 ore e, per tutta la fase acuta, la disinfezione dei tramiti a giorni alterni. La conversione a fissazione interna definitiva è stata programmata dopo il miglioramento delle condizioni cliniche generali e il ripristino del trofismo dei tessuti molli.

## 7.6 Analisi statistica

Le variabili categoriche sono state espresse come frequenze assolute e percentuali, quelle continue come media ± deviazione standard (DS) e come mediana con intervallo interquartile (IQR) e range. La normalità delle distribuzioni è stata verificata con il test di Shapiro-Wilk: l'età presentava una distribuzione compatibile con la normalità ($p = 0,25$), mentre la durata della fissazione esterna e la durata della degenza presentavano una marcata asimmetria ($p < 0,001$) e sono state pertanto descritte principalmente mediante mediana e IQR.

Il confronto delle variabili continue tra gruppi è stato eseguito con il test U di Mann-Whitney; il confronto delle proporzioni con il test esatto di Fisher, più appropriato del test $\chi^2$ in presenza di frequenze attese ridotte. La correlazione tra la durata della fissazione esterna e la durata della degenza è stata valutata con il coefficiente di correlazione per ranghi di Spearman ($\rho$). Per le analisi per paziente, nei casi con più segmenti stabilizzati è stata considerata la durata massima della fissazione esterna. È stata considerata statisticamente significativa una $p < 0,05$ (test a due code). In considerazione della ridotta numerosità campionaria, le analisi inferenziali hanno carattere esplorativo e non sono state applicate correzioni per confronti multipli né modelli multivariati. Le analisi sono state eseguite con Python 3 (librerie NumPy e SciPy).

# 8. RISULTATI

## 8.1 Caratteristiche generali della popolazione

La coorte è composta da 42 pazienti, di età compresa tra 15 e 88 anni. L'età media è risultata pari a 45,1 ± 17,6 anni (mediana 44,5 anni; IQR 27,3-56,8), con una moda di 27 anni. Trentatré pazienti (78,6%) erano di sesso maschile e 9 (21,4%) di sesso femminile, con un rapporto M:F di 3,7:1. L'anamnesi patologica remota era documentata in 3 pazienti: abuso cronico di alcol (P1); gastrite, ernia iatale e noduli epatici (P35); pregressa amputazione transtibiale controlaterale, ipertensione arteriosa, ernia iatale e sindrome ansioso-depressiva (P39).

La distribuzione dei casi nel periodo di osservazione è riportata nella Tabella 2 e nella Figura 6. I picchi di casistica si registrano nel 2019 e nel 2025 (11 casi ciascuno, 26,2%), seguiti dal 2020 (8 casi, 19,0%) e dal 2023 (7 casi, 16,7%). Si osserva una marcata riduzione nel biennio 2021-2022 (1 caso nel 2021, nessuno nel 2022) e nel 2024 (3 casi, 7,1%); per il 2026 è stato incluso un solo caso (2,4%), essendo l'anno ancora in corso al momento della raccolta dei dati.

*Tabella 2 – Distribuzione dei casi per anno (N = 42).*

| Anno | n | % |
|---|---|---|
| 2019 | 11 | 26,2 |
| 2020 | 8 | 19,0 |
| 2021 | 1 | 2,4 |
| 2022 | 0 | 0,0 |
| 2023 | 7 | 16,7 |
| 2024 | 3 | 7,1 |
| 2025 | 11 | 26,2 |
| 2026 | 1 | 2,4 |
| Totale | 42 | 100,0 |

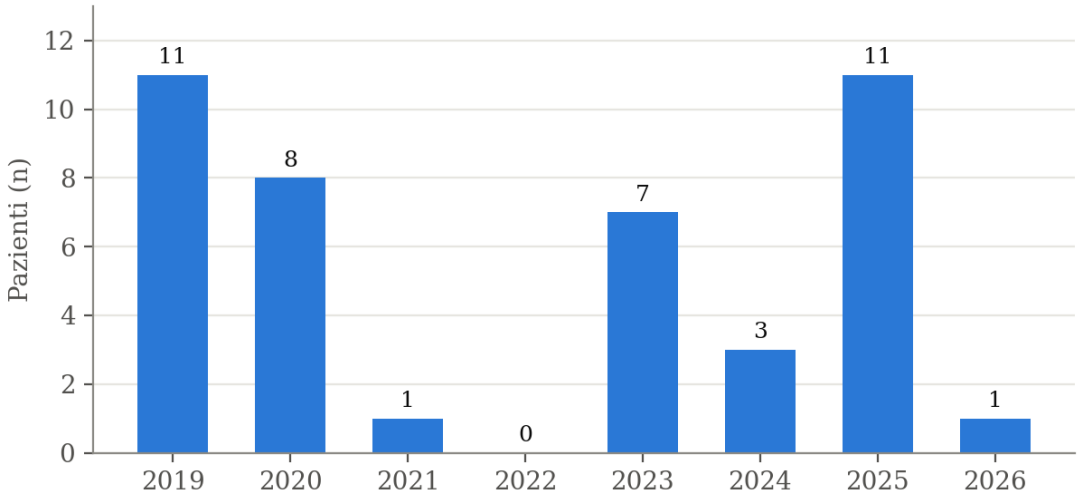



*Figura 6 – Numero di pazienti inclusi per anno (N = 42). Fonte: elaborazione propria.*

## 8.2 Eziologia e meccanismo del trauma

L'analisi delle eziologie (Tabella 3, Figura 7) evidenzia una netta prevalenza dei traumi stradali, che rappresentano da soli oltre due terzi della casistica (29 pazienti, 69,0%), prevalentemente incidenti motociclistici. Seguono i pazienti con dinamica non documentata (6 pazienti, 14,3%), gli incidenti domestici (3 pazienti, 7,1%, inclusi traumi da macchine agricole e da giardinaggio), le cadute dall'alto (2 pazienti, 4,8%) e gli infortuni sul lavoro (1 paziente, 2,4%). Per un paziente (2,4%) si riporta un politrauma con dinamica non specificata.

*Tabella 3 – Distribuzione dei pazienti per tipologia di trauma (N = 42).*

| Tipologia di trauma | n | % |
|---|---|---|
| Incidente stradale | 29 | 69,0 |
| Dato non disponibile | 6 | 14,3 |
| Incidente domestico | 3 | 7,1 |
| Caduta dall'alto | 2 | 4,8 |
| Infortunio sul lavoro | 1 | 2,4 |
| Politrauma non specificato | 1 | 2,4 |
| Totale | 42 | 100,0 |

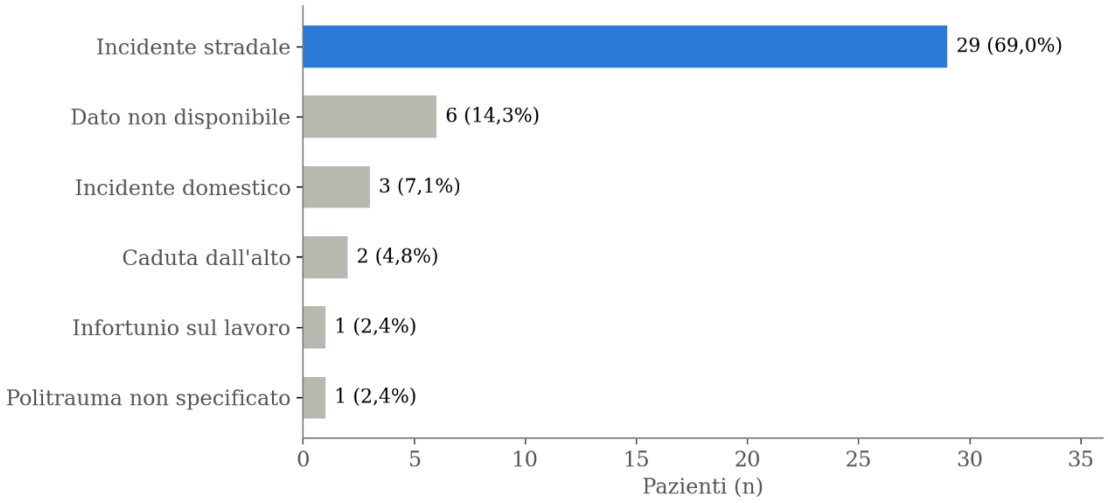



*Figura 7 – Distribuzione dei pazienti per tipologia di trauma (N = 42). Fonte: elaborazione propria.*

Le caratteristiche demografiche e cliniche dei singoli pazienti sono riportate nella Tabella 4.

*Tabella 4 – Caratteristiche demografiche e cliniche dei pazienti (N = 42). GA = grado di Gustilo-Anderson; n.d. = non disponibile; n.s. = non specificato.*

| Paz. | Sesso | Anno | Età | Frattura | Esposta (GA) | Meccanismo |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | M | 2019 | 54 | Bifocale diafisi femore sx; metaepifisi prossimale tibia e perone sx | No | n.d. |
| P2 | M | 2019 | 57 | Gamba dx | Sì (n.s.) | Incidente domestico (motozappa) |
| P3 | M | 2019 | 36 | Pilone tibiale dx | Sì (n.s.) | Incidente stradale (moto) |
| P4 | M | 2019 | 40 | Avambraccio sx | Sì (n.s.) | Incidente stradale |
| P5 | M | 2019 | 48 | Tibia dx | Sì (n.s.) | Incidente domestico (tagliaerba) |
| P6 | M | 2019 | 21 | Frattura-lussazione caviglia sx | Sì (n.s.) | n.d. |
| P7 | M | 2019 | 49 | Frattura-lussazione caviglia dx | Sì (n.s.) | Caduta dall'alto (albero) |
| P8 | M | 2019 | 50 | Pluriframmentaria terzo distale diafisi femore sx | Sì (n.s.) | Incidente stradale (moto) |
| P9 | F | 2019 | 58 | Diafisi tibia dx e bifocale perone dx | No | Incidente stradale |
| P10 | M | 2019 | 41 | Pluriframmentaria diafisi femore dx | No | n.d. |
| P11 | M | 2019 | 60 | Terzo medio-distale tibia sx e bifocale perone sx | Sì (n.s.) | Incidente stradale |
| P12 | M | 2020 | 28 | Medio-diafisaria tibia e perone dx | Sì (n.s.) | Incidente stradale (moto) |
| P13 | M | 2020 | 70 | Metaepifisi distale femore dx | Sì (n.s.) | Incidente stradale |
| P14 | M | 2020 | 32 | Biossea gamba sx | Sì (n.s.) | Incidente stradale |
| P15 | F | 2020 | 88 | Periprotesica diafisi prossimale e media femore dx con dislocazione dello stelo | Sì (n.s.) | Incidente stradale |

| Paz. | Sesso | Anno | Età | Frattura | Esposta (GA) | Meccanismo |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P16 | F | 2020 | 51 | Biossea metafisi distale radio e ulna sx | No | Incidente stradale (scooter) |
| P17 | M | 2020 | 22 | Terzo medio tibia e perone dx con sindrome compartimentale | Sì (n.s.) | Investimento |
| P18 | M | 2020 | 22 | Femore distale sx, bifocale gamba sx; bifocale gamba dx | Sì, gamba dx (n.s.) | Incidente stradale |
| P19 | F | 2020 | 43 | Biossea gamba sx | Sì (n.s.) | n.d. |
| P20 | F | 2021 | 81 | Frattura-lussazione tibio-astragalica sx | Sì (n.s.) | n.d. |
| P21 | M | 2023 | 61 | Biossea terzo medio diafisi radio e ulna dx | Sì (II) | Incidente stradale (moto) |
| P22 | M | 2023 | 41 | Frattura-lussazione complessa caviglia sx | Sì (IIIA) | Incidente stradale (moto) |
| P23 | M | 2023 | 45 | Diafisi femore dx | Sì (n.s.) | Incidente stradale (scooter) |
| P24 | M | 2023 | 44 | Pluriframmentaria diafisi femore dx | Sì (n.s.) | Incidente domestico |
| P25 | M | 2023 | 22 | Pluriframmentaria tibia dx, bifocale perone dx, rotula dx | Sì (I) | Incidente stradale (moto) |
| P26 | M | 2023 | 27 | Diafisi femore sx | Sì (IIIB) | Incidente stradale (moto) |
| P27 | M | 2023 | 60 | Biossea terzo distale tibia e perone sx | Sì (n.s.) | Incidente stradale (moto) |
| P28 | M | 2024 | 54 | Biossea gamba dx | Sì (IIIA) | Incidente stradale |
| P29 | F | 2024 | 15 | Sovracondilica femore dx | Sì (IIIA) | Incidente stradale (moto) |
| P30 | M | 2024 | 75 | Bacino (open-book) | No | Caduta dall'alto (albero) |
| P31 | M | 2025 | 69 | Omero distale sx | Sì (n.s.) | Caduta in bicicletta |
| P32 | M | 2025 | 27 | Terzo distale femore sx; biossea distale tibia sx e bifocale perone sx | Sì, femore (II) e tibia (IIIB) | Incidente stradale (moto) |
| P33 | M | 2025 | 38 | Bacino (open-book) | No | Politrauma n.s. |
| P34 | M | 2025 | 26 | Diafisi femore sx; biossea tibia e perone sx | Sì, femore e tibia (n.s.) | Incidente stradale (auto) |
| P35 | F | 2025 | 40 | Pluriframmentaria diafisi femore sx | Sì (I) | Incidente stradale |
| P36 | F | 2025 | 27 | Bacino (quadribranca) | No | Incidente stradale (moto) |
| P37 | F | 2025 | 49 | Avambraccio sx | Sì (IIIB) | n.d. |
| P38 | M | 2025 | 27 | Bacino (open-book) | No | Incidente stradale (moto) |
| P39 | M | 2025 | 56 | Diafisi femore sx | Sì (n.s.) | Incidente stradale |
| P40 | M | 2025 | 54 | Pluriframmentaria terzo distale radio e ulna sx | Sì (I) | Incidente stradale |
| P41 | M | 2025 | 27 | Pluriframmentaria diafisi femore dx | Sì (III, n.s.) | Incidente stradale |
| P42 | M | 2026 | 59 | Gamba dx | Sì (IIIA) | Infortunio sul lavoro (schiacciamento) |

## 8.3 Sede e classificazione delle fratture

Trentasette pazienti (88,1%) presentavano fratture localizzate in un singolo distretto anatomico, mentre cinque (11,9%) presentavano fratture in più distretti. Per segmento

osseo sono state riscontrate 18 fratture di tibia, 15 di femore, 13 di perone, 4 di bacino, 5 di radio, 5 di ulna, 4 fratture-lussazioni di caviglia, 1 frattura di rotula e 1 di omero; la somma supera il numero dei pazienti per la presenza di lesioni biossee e polidistrettuali.

Per quanto riguarda il pattern morfologico, 13 pazienti (31,0%) presentavano una frattura biossea (tibia-perone o radio-ulna), 6 pazienti (14,3%) una o più fratture bifocali (7 fratture bifocali in totale) e 7 pazienti (16,7%) una frattura pluriframmentaria; le categorie non sono mutuamente esclusive.

Trentaquattro pazienti (81,0%) presentavano almeno una frattura esposta, per un totale di 36 fratture esposte (due pazienti polidistrettuali presentavano un'esposizione in due sedi distinte); i restanti 8 pazienti (19,0%) presentavano esclusivamente fratture chiuse, di cui 4 fratture di bacino. Il grado di Gustilo-Anderson era documentato soltanto per 13 delle 36 fratture esposte (36,1%) (Tabella 5): tra queste, 8 erano di tipo III (61,5% delle fratture classificate).

*Tabella 5 – Distribuzione delle 36 fratture esposte secondo la classificazione di Gustilo-Anderson.*

| Grado | n | % sul totale delle fratture esposte |
|---|---|---|
| I | 3 | 8,3 |
| II | 2 | 5,6 |
| IIIA | 4 | 11,1 |
| IIIB | 3 | 8,3 |
| III (sottotipo non specificato) | 1 | 2,8 |
| Non classificate | 23 | 63,9 |
| Totale | 36 | 100,0 |

## 8.4 Gestione chirurgica: fissazione esterna e sintesi definitiva

Tutti i 42 pazienti sono stati sottoposti a stabilizzazione temporanea con fissatore esterno secondo i principi del DCO. La configurazione del fissatore è stata scelta in base alla stabilità richiesta e alle condizioni dei tessuti molli: in 6 casi (14,3%) è stato utilizzato un fissatore a ponte trans-articolare, in 6 casi (14,3%) un sistema modulare tipo Hoffmann (in un caso con componenti circolari, in uno integrato da fili di Kirschner, in uno successivamente sostituito con un fissatore semicircolare), mentre nei restanti 30 casi (71,4%) il modello non era specificato in cartella. Il fissatore è stato applicato nella prima giornata di ricovero in 34 pazienti su 41 con dato disponibile (82,9%).

La durata della fissazione esterna era disponibile per 40 pazienti, per un totale di 41 segmenti stabilizzati (nel paziente P32 femore e tibia sono stati convertiti in tempi diversi). Non era disponibile per P39, giunto con un fissatore già applicato presso altro ospedale, e per P42, ancora in trattamento al momento della raccolta dei dati. La durata media è risultata di 29,5 ± 42,5 giorni, con una mediana di 12 giorni (IQR 6-30; range 1-207) (Tabella 6, Figura 8). La distribuzione è marcatamente asimmetrica per la presenza di alcuni casi con fissazione esterna prolungata (152, 207 giorni), pertanto la mediana e l'IQR ne rappresentano gli indici più affidabili. In 22 segmenti su 41 (53,7%) la conversione è avvenuta entro 14 giorni e in 29 (70,7%) entro 28 giorni.

*Tabella 6 – Statistica descrittiva della durata della fissazione esterna (41 segmenti in 40 pazienti).*

| **Parametro** | **Valore** |
|---|---|
| Media ± DS | 29,5 ± 42,5 giorni |
| Mediana (IQR) | 12 (6-30) giorni |
| Range | 1-207 giorni |
| Conversione entro 14 giorni | 22/41 (53,7%) |
| Conversione entro 28 giorni | 29/41 (70,7%) |

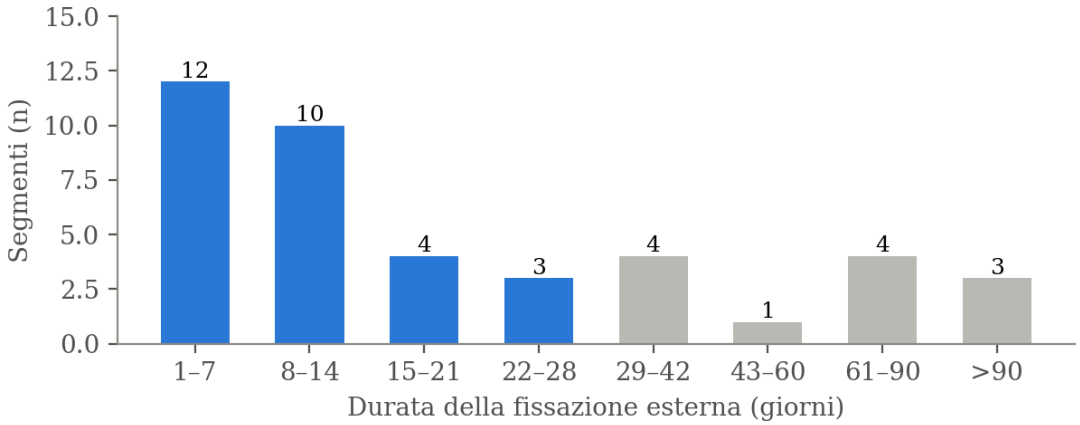



*Figura 8 – Distribuzione della durata della fissazione esterna (41 segmenti). In blu i segmenti convertiti entro 28 giorni. Fonte: elaborazione propria.*

In 6 pazienti (P2, P3, P4, P5, P7, P19), tutti trattati nel biennio 2019-2020, tra la rimozione del fissatore e la sintesi definitiva è intercorso un intervallo libero, con trattamento in più ricoveri successivi (mediana 20 giorni; range 11-47). Negli altri casi la conversione è avvenuta nella stessa seduta operatoria della rimozione del fissatore.

La sintesi definitiva è stata eseguita con chiodo endomidollare in 22 casi, con placca e viti in 30 casi e con vite ileo-sacrale in 2 fratture di bacino; il numero complessivo dei mezzi di sintesi supera quello dei pazienti per la presenza di lesioni biossee e polidistrettuali che hanno richiesto sintesi multiple. Il chiodo endomidollare è stato la scelta prevalente per le fratture diafisarie di femore e tibia, mentre la placca è stata preferita per le localizzazioni metafisarie e articolari, per l'avambraccio, l'omero distale e il bacino. In 2 pazienti sono stati associati sostituti ossei o innesti (P17, P40) e in P13 è stato necessario un innesto di osso di banca. Al momento della raccolta dei dati la sintesi interna definitiva non risultava documentata in P42 (ancora in trattamento), mentre in P34 la tibia è stata trattata con un fissatore semicircolare ibrido. I dettagli sono riportati nella Tabella 7.

*Tabella 7 – Variabili chirurgiche per paziente. FE = fissatore esterno; gg = giorni; — = dato non disponibile o non applicabile; * = dato da verificare nella documentazione originale.*

| Paz. | Tipo di FE | Giorno applicazione FE | Durata FE (gg) | Intervallo libero (gg) | Sintesi definitiva | Degenza totale (gg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | A ponte femoro-tibiale | 1 | 3 | — | Chiodo endomidollare femore e tibia | 20 |
| P2 | N.s. | 1 | 61 | 33 | Chiodo endomidollare e viti | 10 (5+1+4) |
| P3 | N.s. | 1 | 40 | 47 | Chiodo endomidollare | 14 (7+1+6) |
| P4 | N.s. | 1 | 1 | 28 | 2 placche, cerchiaggio ulna e filo di K radio-ulnare | 14 (5+9) |
| P5 | N.s. | 1 | 68 | 12 | Chiodo endomidollare | 13 (6+2+5) |
| P6 | N.s. | 1 | 30 | — | Placca e vite | 3 (1+2) |
| P7 | N.s. | 1 | 43 | 11 | Placca e viti malleolo peroneale e tibiale | 19 (9+1+9)* |
| P8 | A ponte sul ginocchio | 1 | 5 | — | Placca e viti | 12 |
| P9 | N.s. | 1 | 9 | — | Chiodo endomidollare | 20 |
| P10 | N.s. | 1 | 3 | — | Chiodo endomidollare retrogrado | 27 |
| P11 | N.s. | 1 | 79 | — | Placche e viti | 28 (10+18)* |
| P12 | N.s. | 1 | 23 | — | Chiodo endomidollare | 25 |
| P13 | N.s. | 1 | 29 | — | Placca e viti, innesto di osso di banca | 46 |
| P14 | N.s. | 39* | 66 | — | Placca LISS tibia prossimale | 90 |
| P15 | FE bacino e femore | 165 | 15 | — | Revisione stelo protesico e placca cable-ready | 212* |
| P16 | N.s. | 1 | 6 | — | Placche e viti radio e ulna, filo ulna | 11 |
| P17 | N.s. | 1 | 152 | — | Chiodo endomidollare tibia, poi rimosso; riempimento con sostituto osseo | 145 (92+53) |
| P18 | A ponte femore e gamba sx; FE gamba dx | 1 | 23 | — | Placca LISS femore; chiodi endomidollari tibia bilaterali | 36 |

| Paz. | Tipo di FE | Giorno applicazione FE | Durata FE (gg) | Intervallo libero (gg) | Sintesi definitiva | Degenza totale (gg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P19 | N.s. | 1 | 17 | 12 | Chiodo endomidollare e viti | 25 (19+6) |
| P20 | N.s. | 1 | 1 | — | Placca 1/3 tubulare perone, vite transindesmosica | 5 |
| P21 | A ponte | 2 | 7 | — | Placca LCP | 12 |
| P22 | Hoffmann con componente circolare | 1 | 207 | — | Placca e viti | 19 |
| P23 | N.s. | 1 | 24 | — | Chiodo endomidollare | 36 |
| P24 | N.s. | 1 | 2 | — | Chiodo endomidollare e viti; innesti cutanei | 16 |
| P25 | N.s. | 1 | 12 | — | Chiodo endomidollare | 20 |
| P26 | N.s. | 1 | 5 | — | Chiodo endomidollare e viti | 12 |
| P27 | N.s. | 1 | 12 | — | Chiodo endomidollare e viti | 19 |
| P28 | N.s. | 1 | 8 | — | Chiodo endomidollare tibia | 13 |
| P29 | N.s. | 2 | 10 | — | Placca e viti; revisione con chiodo retrogrado e placca LCP | 42 (41+1) |
| P30 | N.s. | 1 | 8 | — | 2 placche sinfisi pubica e vite ileo-sacrale | 23 |
| P31 | Hoffmann | 1 | 18 | — | 2 placche omero distale, placca olecrano e vite cannulata | 26 |
| P32 | N.s. | 1 | Femore 18; tibia 31 | — | Chiodo endomidollare femore e tibia | 42 |
| P33 | N.s. | 3 | 14 | — | Placca e viti | 27 |
| P34 | Hoffmann femore e gamba | 1 | 12 | — | Chiodo retrogrado femore; FE semicircolare ibrido tibia | 101 |
| P35 | N.s. | 1 | 10 | — | Chiodo endomidollare retrogrado | 22 |
| P36 | A ponte | 7 | 4 | — | Placca e viti | 47 |
| P37 | Hoffmann | 1 | 6 | — | Placca retta ulna e placca DVR radio | 20 |
| P38 | N.s. | 1 | 3 | — | Vite ileo-sacrale | 16 |
| P39 | Applicato in altra sede | — | — | — | Placca e viti | 26 |
| P40 | Hoffmann e 2 fili di K | 6 | 112 | — | Placche radio e ulna, innesto osseo e sostituto osseo | 117* |
| P41 | A ponte | 1 | 12 | — | Placca LISS e vite cannulata | 21 |
| P42 | Hoffmann, da convertire in semicircolare | 1 | — | — | In corso | 16 (in corso) |

La durata della degenza complessiva è risultata mediamente di 35,0 ± 40,8 giorni, con una mediana di 20,5 giorni (IQR 14,5-34; range 3-212). La durata della fissazione esterna è risultata significativamente più lunga nei pazienti con almeno una frattura esposta rispetto a quelli con sole fratture chiuse (mediana 17,5 giorni, IQR 9,5-40,8, vs 5 giorni, IQR 3-8,3; p = 0,006), mentre la durata complessiva della degenza non differiva tra i due gruppi (mediana 20,5 vs 21,5 giorni; p = 0,91). La durata della fissazione esterna è

risultata debolmente ma significativamente correlata alla durata della degenza (ρ di Spearman = 0,34; p = 0,031).

## 8.5 Outcome e analisi delle complicanze

Nel corso del ricovero e del follow-up, 21 pazienti su 42 (50,0%) hanno presentato almeno un evento avverso, mentre 21 (50,0%) hanno avuto un decorso privo di complicanze documentate. Quattordici pazienti (33,3%) hanno presentato almeno una complicanza locale a carico del segmento fratturato. Le complicanze dei singoli pazienti sono riportate nella Tabella 8 e la distribuzione per categoria nella Tabella 9 e nella Figura 9.

*Tabella 8 – Complicanze ed esiti a distanza nei 21 pazienti con almeno un evento avverso.*

| Paz. | Frattura esposta | Complicanze ed esiti |
|---|---|---|
| P1 | No | Urinocoltura positiva per *E. faecalis* |
| P11 | Sì | Caviglia sx tumefatta e dolente; articolarità in flesso-estensione limitata ai gradi estremi (rigidità) |
| P12 | Sì | Trombosi venosa antecubitale sx, della vena basilica sx e della piccola safena dx; microembolia polmonare nei rami dell'arteria polmonare dx |
| P13 | Sì | Innesto di osso di banca; sospetta embolia polmonare |
| P14 | Sì | NPWT su esposizione al ginocchio; tamponi positivi per *A. baumannii* e *S. epidermidis*; febbre elevata; necrosi e asportazione subtotale del tendine rotuleo; copertura con innesto cutaneo (FRI confermata) |
| P15 | Sì | Pseudoaneurisma dell'arteria femorale dx trattato con embolizzazione |
| P18 | Sì | Rimozione di 2 viti di bloccaggio distali del chiodo tibiale sx (2021) |
| P20 | Sì | Lieve ipoestesia al dorso del piede e al terzo distale laterale della gamba |
| P22 | Sì | Neuroaprassia (stupor) del nervo sciatico popliteo esterno in 2ª giornata, con deficit sensitivo al I dito e al dorso del piede |
| P24 | Sì | Trombosi venosa profonda poplitea e sottopoplitea |
| P27 | Sì | Ritardo di consolidazione (incompleti fenomeni riparativi) |
| P29 | Sì | Picco febbrile; NPWT; revisione e sutura della ferita (FRI sospetta); zoppia, dolore e deficit sensitivo; articolarità di ginocchio e caviglia limitata ai gradi estremi, flessum di ginocchio; nel 2026 rimozione della placca femorale e nuova sintesi con chiodo retrogrado, placca e viti |
| P31 | Sì | Edema, soffusioni emorragiche e flittene all'arto superiore sx; antibioticoterapia ad ampio spettro e medicazione a pressione negativa monouso (FRI sospetta) |
| P33 | No | Trombosi venosa profonda sottopoplitea con eventi tromboembolici; posizionamento di filtro cavale |
| P34 | Sì | NPWT; lembo locale di chirurgia plastica; colture intraoperatorie e tampone del lembo positivi; imbibizione dei tessuti molli sottocutanei al focolaio (FRI confermata); urinocoltura positiva |
| P36 | No | Urinocoltura positiva per *E. coli*; tampone rettale positivo per *K. pneumoniae* produttrice di carbapenemasi (KPC); antibioticoterapia |
| P37 | Sì | Necrosi cutanea dell'avambraccio trattata con toilette e sostituto dermico (chirurgia plastica); deficit di estensione attiva del I raggio della mano sx |
| P39 | Sì | Area di necrosi al malleolo tibiale e flittena calcaneare; consulenza di chirurgia plastica |
| P40 | Sì | Edema cutaneo; articolarità delle dita della mano limitata ai gradi intermedi |
| P41 | Sì | Grossolana entesopatia calcifica del tendine quadricipitale (ossificazione eterotopica) |
| P42 | Sì | Sospetta embolia polmonare |

*Tabella 9 – Distribuzione delle complicanze per categoria (N = 42). Le categorie non sono mutuamente esclusive.*

| Categoria | Pazienti | n (%) |
|---|---|---|
| Complicanze della ferita e dei tessuti molli | P14, P29, P31, P34, P37, P39 | 6 (14,3) |
| Tromboembolismo venoso (confermato / sospetto) | P12, P24, P33 / P13, P42 | 5 (11,9) |
| Infezione del sito di frattura (confermata / sospetta) | P14, P34 / P29, P31 | 4 (9,5) |
| Deficit neurologici periferici | P20, P22, P29, P37 | 4 (9,5) |
| Disturbi della consolidazione e reinterventi | P13, P18, P27, P29 | 4 (9,5) |
| Rigidità articolare | P11, P29, P40 | 3 (7,1) |
| Infezioni a distanza (vie urinarie, colonizzazione MDR) | P1, P34, P36 | 3 (7,1) |
| Pseudoaneurisma arterioso | P15 | 1 (2,4) |
| Ossificazione eterotopica | P41 | 1 (2,4) |

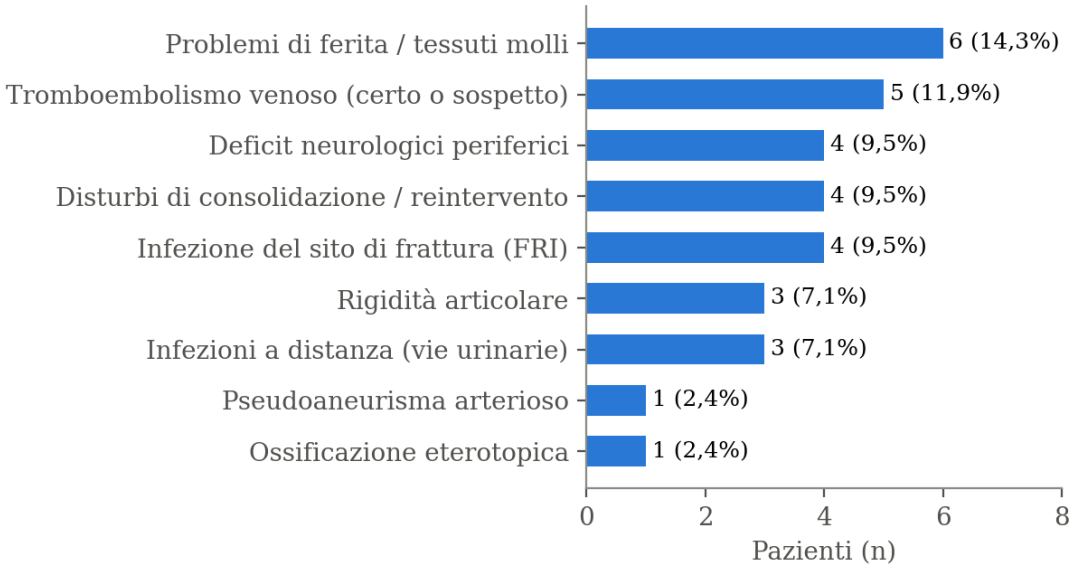



*Figura 9 – Pazienti con complicanze per categoria (N = 42; categorie non mutuamente esclusive). Fonte: elaborazione propria.*

### *8.5.1 Complicanze infettive e dei tessuti molli*

Un'infezione del sito di frattura è stata confermata in 2 pazienti (P14, P34), entrambi con fratture esposte dell'arto inferiore ad alta energia, con isolamento di germi da campioni profondi e necessità di procedure di copertura; in entrambi i casi si è trattato di pazienti con degenza prolungata (90 e 101 giorni). In altri 2 pazienti (P29, P31) il quadro clinico (febbre, sofferenza della ferita, necessità di revisione o di antibioticoterapia empirica) era suggestivo di infezione, senza conferma microbiologica documentata. Rapportata ai 34 pazienti con frattura esposta, l'incidenza di FRI è quindi pari al 5,9% considerando i soli casi confermati e all'11,8% includendo i casi sospetti. Complessivamente 6 pazienti (14,3%) hanno presentato complicanze della ferita o dei tessuti molli, 3 dei quali (P14, P34, P37) hanno richiesto procedure di chirurgia plastica (innesto cutaneo, lembo locale, sostituto dermico). Non sono state documentate infezioni dei tramiti delle fiches né infezioni insorte dopo la conversione in pazienti senza precedenti segni di infezione.

Le infezioni a distanza hanno interessato 3 pazienti (7,1%), con infezioni delle vie urinarie (*E. faecalis*, *E. coli*) e, in un caso, colonizzazione rettale da *K. pneumoniae* (KPC).

### *8.5.2 Complicanze tromboemboliche e vascolari*

Cinque pazienti (11,9%) hanno presentato un evento tromboembolico venoso: 3 casi confermati (P12 con trombosi venosa e microembolia polmonare; P24 con trombosi venosa profonda poplitea; P33 con trombosi venosa profonda ed eventi embolici che hanno richiesto il posizionamento di un filtro cavale) e 2 casi di sospetta embolia polmonare (P13, P42). Un paziente (P15, 88 anni, frattura periprotesica di femore) ha sviluppato uno pseudoaneurisma dell'arteria femorale, trattato con embolizzazione.

### *8.5.3 Complicanze neurologiche e funzionali*

Quattro pazienti (9,5%) hanno presentato deficit neurologici periferici, prevalentemente sensitivi: ipoestesia del dorso del piede (P20), neuroaprassia del nervo sciatico popliteo esterno (P22), deficit sensitivo all'arto inferiore (P29) e deficit di estensione attiva del pollice (P37). Tre pazienti (7,1%) hanno sviluppato rigidità articolare (caviglia in P11; ginocchio e caviglia in P29; dita della mano in P40) e un paziente (P41) una grossolana ossificazione eterotopica del tendine quadricipitale.

### *8.5.4 Disturbi della consolidazione e reinterventi*

Quattro pazienti (9,5%) hanno presentato disturbi della consolidazione o necessità di interventi aggiuntivi: un ritardo di consolidazione (P27), un fallimento della sintesi femorale con revisione mediante chiodo retrogrado e placca a circa due anni dal trauma (P29), la rimozione delle viti di bloccaggio distali del chiodo tibiale (P18) e la necessità di innesto di osso di banca (P13). A questi si aggiunge P17, in cui, dopo una fissazione esterna di 152 giorni per frattura esposta di tibia complicata da sindrome compartimentale, il chiodo endomidollare è stato successivamente rimosso e il difetto riempito con sostituto osseo; la documentazione disponibile non consente tuttavia di precisare l'indicazione a tale procedura.

### *8.5.5 Analisi dei fattori associati alle complicanze*

I risultati delle analisi comparative sono sintetizzati nella Tabella 10. Le complicanze locali si sono verificate esclusivamente nei pazienti con frattura esposta (14/34, 41,2%, vs 0/8 nei pazienti con fratture chiuse; p = 0,037), mentre la proporzione di pazienti con almeno un evento avverso di qualsiasi tipo non differiva significativamente tra i due gruppi (52,9% vs 37,5%; p = 0,70), poiché nei pazienti con fratture chiuse, prevalentemente di bacino, gli eventi sono stati di natura sistemica (TEV, infezioni urinarie).

La durata della fissazione esterna non è risultata significativamente diversa tra pazienti con e senza complicanze (mediana 14 vs 10 giorni; p = 0,70), né tra pazienti con e senza complicanze locali (mediana 18 vs 10 giorni; p = 0,14). Analogamente, non è emersa una differenza significativa nell'incidenza di complicanze tra i pazienti convertiti entro 28 giorni e quelli con fissazione esterna di durata superiore (complicanze locali 8/28, 28,6%, vs 5/12, 41,7%; p = 0,48), né utilizzando una soglia di 14 giorni (p = 0,51). L'età non differiva tra pazienti con e senza complicanze (mediana 49 vs 43 anni; p = 0,38). Nel sottogruppo con fratture esposte classificate, le complicanze locali sono risultate più frequenti nelle fratture di tipo III (4/8, 50%) rispetto ai tipi I-II (1/4, 25%), senza raggiungere la significatività statistica (p = 0,58).

I pazienti con complicanze hanno presentato una degenza significativamente più lunga (mediana 26 giorni, IQR 20-46, vs 16 giorni, IQR 12-23; p = 0,006). Nessuno dei 6 pazienti trattati con intervallo libero tra rimozione del fissatore e sintesi definitiva ha

presentato complicanze documentate (0/6 vs 21/36; p = 0,021); tale dato va tuttavia interpretato con grande cautela, poiché si tratta di pazienti con lesioni meno complesse, trattati tutti nel biennio 2019-2020 e con documentazione di follow-up più limitata. Infine, non sono emerse differenze significative nella durata della fissazione esterna (mediana 23 vs 11 giorni; p = 0,26) né nell'incidenza di complicanze (40,0% vs 59,1%; p = 0,35) tra il periodo 2019-2021 e il periodo 2023-2026.

*Tabella 10 – Analisi esplorativa dei fattori associati alle complicanze. FE = fissazione esterna.*

| **Confronto** | **Gruppo A** | **Gruppo B** | **p** |
|---|---|---|---|
| Complicanze locali: esposte (A) vs chiuse (B) | 14/34 (41,2%) | 0/8 (0%) | 0,037 [a] |
| Qualsiasi complicanza: esposte (A) vs chiuse (B) | 18/34 (52,9%) | 3/8 (37,5%) | 0,70 [a] |
| Durata FE, gg: esposte (A) vs chiuse (B) | 17,5 (9,5-40,8) | 5 (3-8,3) | 0,006 [b] |
| Durata FE, gg: con (A) vs senza (B) complicanze | 14 (8-26) | 10 (6-31) | 0,70 [b] |
| Durata FE, gg: con (A) vs senza (B) complicanze locali | 18 (12-66) | 10 (5-27) | 0,14 [b] |
| Complicanze locali: FE > 28 gg (A) vs ≤ 28 gg (B) | 5/12 (41,7%) | 8/28 (28,6%) | 0,48 [a] |
| Complicanze locali: GA III (A) vs GA I-II (B) | 4/8 (50%) | 1/4 (25%) | 0,58 [a] |
| Età, anni: con (A) vs senza (B) complicanze | 49 | 43 | 0,38 [b] |
| Degenza, gg: con (A) vs senza (B) complicanze | 26 (20-46) | 16 (12-23) | 0,006 [b] |
| Correlazione durata FE – degenza | ρ = 0,34 | | 0,031 [c] |

[a] Test esatto di Fisher; [b] test U di Mann-Whitney, valori espressi come mediana (IQR); [c] correlazione di Spearman.

# 9. DISCUSSIONE

Il presente studio ha analizzato 42 pazienti con fratture complesse, in larga maggioranza esposte, trattati presso un DEA di II livello con un protocollo in due tempi basato sulla fissazione esterna temporanea e sulla successiva conversione a sintesi interna. I risultati principali possono essere così sintetizzati: la conversione è avvenuta in tempi generalmente brevi (mediana 12 giorni), l'incidenza di infezione del sito di frattura è risultata contenuta (5,9-11,8% nelle fratture esposte), le complicanze locali sono risultate strettamente legate all'esposizione del focolaio e lo sviluppo di complicanze si è associato a un prolungamento significativo della degenza.

## 9.1 Caratteristiche della popolazione

Il profilo demografico della coorte, costituita prevalentemente da uomini in età lavorativa coinvolti in incidenti stradali ad alta energia, è sovrapponibile a quello descritto nei principali studi epidemiologici sulle fratture esposte [16] e sui pazienti politraumatizzati trattati secondo i principi del DCO [35, 40]. La distribuzione per anno riflette verosimilmente sia la variabilità della casistica traumatologica sia la riduzione della mobilità e dell'attività chirurgica di elezione durante la pandemia da SARS-CoV-2 (2020-2022), oltre che la possibile incompletezza della documentazione per alcuni anni del periodo in esame. La netta prevalenza di fratture dell'arto inferiore, in particolare di tibia e femore, è coerente con la letteratura, che identifica la diafisi tibiale come la sede più frequente di frattura esposta delle ossa lunghe [16].

## 9.2 Tempistica della fissazione esterna e della conversione

La tempistica ottimale della conversione dalla fissazione esterna alla sintesi interna rappresenta il principale quesito clinico di questo lavoro. Nella nostra casistica la durata mediana della fissazione esterna è stata di 12 giorni e oltre il 70% dei segmenti è stato convertito entro 28 giorni, in accordo con le indicazioni della letteratura. Nowotarski et al. hanno riportato un'incidenza di infezione dell'1,7% dopo conversione a inchiodamento di fratture femorali eseguita in media dopo 7 giorni di fissazione esterna [63], e Scalea et al. hanno dimostrato la sicurezza della fissazione esterna come «ponte» verso l'inchiodamento nei politraumatizzati [36]. La metanalisi di Bhandari et al. ha identificato nella soglia di 28 giorni il limite oltre il quale il rischio di infezione dopo conversione

aumenta significativamente [64], dato confermato da una recente coorte di undici anni presso un trauma center di I livello [65].

In questo studio non è emersa un'associazione significativa tra la durata della fissazione esterna e lo sviluppo di complicanze, anche utilizzando le soglie di 14 e 28 giorni. Questo risultato deve essere interpretato alla luce della ridotta numerosità campionaria, che conferisce allo studio una potenza statistica limitata, e del fatto che le complicanze locali hanno mostrato una tendenza, non significativa, a una maggiore durata della fissazione esterna (mediana 18 vs 10 giorni). È inoltre verosimile un fenomeno di causalità inversa: nei pazienti con lesioni più gravi dei tessuti molli o con complicanze della ferita la conversione viene rinviata proprio a causa di tali complicanze, cosicché la fissazione esterna prolungata è più un marcatore della gravità della lesione che la causa delle complicanze. In questo senso va letto anche il dato della maggiore durata della fissazione esterna nelle fratture esposte rispetto alle chiuse (17,5 vs 5 giorni; $p = 0,006$) e la correlazione tra durata della fissazione esterna e durata della degenza.

I casi con fissazione esterna molto prolungata (P17, P22, P40, con durate di 152, 207 e 112 giorni) meritano una considerazione a parte: in queste situazioni il fissatore ha verosimilmente assunto un ruolo non più temporaneo ma di trattamento prolungato o ricostruttivo, in presenza di lesioni complesse dei tessuti molli, sindrome compartimentale o perdite di sostanza; si tratta di casi in cui la letteratura riconosce la fissazione esterna come trattamento potenzialmente definitivo [51, 62].

L'approccio con intervallo libero tra rimozione del fissatore e sintesi definitiva, utilizzato in 6 pazienti nel biennio 2019-2020, non si è associato a complicanze documentate. Pur essendo teoricamente utile in caso di infezione dei tramiti, tale strategia prolunga il percorso di cura e la durata complessiva del trattamento; il dato favorevole osservato è con ogni probabilità influenzato dalla minore complessità delle lesioni e dalla limitata documentazione di follow-up di questi pazienti e non consente conclusioni sulla superiorità di una strategia rispetto all'altra.

## 9.3 Complicanze infettive

L'infezione rappresenta la complicanza più temuta delle fratture esposte. Nella presente casistica l'incidenza di FRI confermata è stata del 5,9% dei pazienti con frattura esposta,

fino all'11,8% considerando i casi sospetti. Questi valori si collocano all'interno dei range riportati in letteratura, che variano dallo 0-2% delle fratture di tipo I al 10-50% di quelle di tipo IIIB e IIIC [17, 18, 23], tenendo conto che nella nostra coorte le fratture di tipo III rappresentavano oltre il 60% di quelle classificate. Entrambi i casi di FRI confermata si sono verificati in lesioni ad alta energia dell'arto inferiore con estesa perdita di tessuti molli, che hanno richiesto procedure di copertura: ciò conferma il ruolo centrale della gestione dei tessuti molli e dell'approccio ortoplastico nella prevenzione delle infezioni [27, 32]. I germi isolati, tra cui *A. baumannii*, riflettono inoltre il peso delle infezioni correlate all'assistenza e dei germi multiresistenti nei pazienti con degenza prolungata e ricovero in Terapia Intensiva.

È degno di nota che non siano state documentate infezioni dei tramiti delle fiches, la cui incidenza in letteratura supera spesso il 10-20% [53, 59]. Questo dato, se da un lato può riflettere l'efficacia del protocollo di cura dei tramiti adottato e la breve durata mediana della fissazione esterna, dall'altro suggerisce una probabile sottosegnalazione nella documentazione clinica, tipica degli studi retrospettivi, in cui le infezioni superficiali trattate ambulatorialmente spesso non vengono registrate.

## 9.4 Complicanze sistemiche

L'incidenza di eventi tromboembolici venosi (11,9%, di cui 7,1% confermati) è in linea con l'elevato rischio trombotico dei pazienti con trauma maggiore: nel classico studio di Geerts et al., in assenza di profilassi, la trombosi venosa profonda veniva riscontrata in oltre la metà dei pazienti con trauma maggiore, con valori ancora più elevati in presenza di fratture di femore, tibia e bacino [73]. Il dato sottolinea l'importanza di una tromboprofilassi precoce e protratta e di un'elevata attenzione clinica, in particolare nei pazienti con fratture di bacino, immobilizzazione prolungata e interventi multipli. Anche le infezioni delle vie urinarie e le colonizzazioni da germi multiresistenti, osservate prevalentemente nei pazienti con fratture di bacino e degenza prolungata, rappresentano complicanze correlate all'assistenza che incidono sulla durata del ricovero.

## 9.5 Esiti funzionali e disturbi della consolidazione

I disturbi della consolidazione documentati (ritardo di consolidazione, fallimento della sintesi, necessità di innesto) hanno interessato circa il 10% dei pazienti, un valore

inferiore a quello riportato per le fratture esposte di tibia, in cui la pseudoartrosi può superare il 15-20% nelle lesioni di tipo III [23]. Anche in questo caso il dato va interpretato con cautela, poiché la durata del follow-up non era omogenea e la consolidazione non è stata valutata con criteri radiografici standardizzati. Il caso di P29, una paziente di 15 anni con frattura sovracondilica esposta di femore di tipo IIIA, che ha sviluppato sofferenza della ferita, rigidità di ginocchio e caviglia e fallimento della sintesi con necessità di revisione, esemplifica come la combinazione di danno dei tessuti molli, coinvolgimento metaepifisario e complicanze della ferita condizioni in modo determinante l'esito funzionale.

Le limitazioni funzionali residue (rigidità articolare, deficit neurologici periferici, ossificazioni eterotopiche) sono state riportate in una minoranza di pazienti, ma la loro frequenza reale è verosimilmente sottostimata in assenza di una valutazione con score funzionali validati. Lo studio LEAP ha dimostrato come, a due anni da traumi gravi dell'arto inferiore, una quota rilevante di pazienti presenti una disabilità significativa indipendentemente dalla strategia ricostruttiva adottata [24].

## 9.6 Scelta della sintesi definitiva

Nella nostra casistica il chiodo endomidollare è stato preferito per le fratture diafisarie di femore e tibia, mentre la placca è stata impiegata nelle sedi metaepifisarie e articolari, nell'arto superiore e nel bacino, in accordo con i principi della fissazione biologica e con le indicazioni della letteratura [1, 8]. Il numero ridotto di casi per ciascun tipo di impianto e sede anatomica non ha consentito un confronto statistico affidabile degli outcome in base al tipo di sintesi.

## 9.7 Complicanze e durata della degenza

Il dato più robusto emerso dall'analisi è l'associazione tra complicanze e durata della degenza: i pazienti con complicanze hanno avuto un ricovero mediamente più lungo di circa 10 giorni rispetto a quelli senza complicanze. Oltre alle ricadute cliniche per il paziente, tale dato ha un rilevante impatto organizzativo ed economico e rafforza l'importanza di strategie di prevenzione mirate: antibioticoprofilassi precoce, debridement accurato, copertura precoce dei tessuti molli, conversione tempestiva e tromboprofilassi adeguata [21, 28, 44].

# 10. LIMITI DELLO STUDIO

Il presente lavoro presenta alcuni limiti che ne condizionano l'interpretazione:

- **disegno retrospettivo:** la qualità dei dati dipende dalla completezza della documentazione clinica, con possibile sottosegnalazione delle complicanze minori (in particolare delle infezioni dei tramiti) e dati mancanti su meccanismo del trauma e tipo di fissatore utilizzato;
- **ridotta numerosità campionaria:** 42 pazienti, distribuiti su diverse sedi anatomiche, conferiscono allo studio una bassa potenza statistica e non hanno consentito analisi multivariate per il controllo dei fattori di confondimento;
- **eterogeneità della coorte:** la casistica comprende fratture esposte e chiuse, di sedi anatomiche diverse (inclusi bacino e arto superiore) e di gravità variabile, in pazienti politraumatizzati e non;
- **classificazione incompleta delle fratture esposte:** il grado di Gustilo-Anderson era documentato solo nel 36% delle fratture esposte, limitando la possibilità di stratificare il rischio; va inoltre ricordato che la classificazione ha una riproducibilità interosservatore solo moderata [19];
- **assenza di dati su variabili rilevanti:** tempo di somministrazione della profilassi antibiotica, tempo al debridement e alla copertura definitiva, gravità complessiva del trauma (ISS), parametri di laboratorio e abitudine al fumo non erano disponibili in modo sistematico;
- **follow-up non standardizzato:** la durata del follow-up non era omogenea e gli esiti funzionali non sono stati valutati mediante score validati (ad esempio LEFS, SF-36, DASH), né la consolidazione mediante criteri radiografici standardizzati (ad esempio RUST).

# 11. CONCLUSIONI

Nella casistica analizzata, la strategia in due tempi con fissazione esterna temporanea e conversione a sintesi interna definitiva si è dimostrata un approccio sicuro ed efficace per il trattamento delle fratture esposte e complesse nel paziente traumatizzato, con tempi di conversione generalmente brevi e in accordo con le indicazioni della letteratura e con un'incidenza di infezione del sito di frattura sovrapponibile a quella riportata per lesioni di pari gravità.

L'esposizione del focolaio si conferma il principale determinante delle complicanze locali, mentre nella presente coorte la durata della fissazione esterna non è risultata un fattore di rischio indipendente, verosimilmente perché riflette la gravità della lesione più che causarne le complicanze. Le complicanze, sia locali sia sistemiche, si associano a un significativo prolungamento della degenza, con importanti ricadute cliniche e organizzative.

Alla luce dei limiti dello studio, i risultati suggeriscono alcune indicazioni per la pratica clinica e per la ricerca futura: la registrazione sistematica del grado di Gustilo-Anderson al termine del primo debridement, dei tempi di antibioticoprofilassi, debridement e copertura, e delle infezioni dei tramiti; l'adozione di definizioni standardizzate di FRI; la valutazione degli esiti funzionali mediante score validati; e la realizzazione di studi prospettici, possibilmente multicentrici, che consentano di definire con maggiore precisione la finestra temporale ottimale per la conversione.

# BIBLIOGRAFIA


1. Buckley RE, Moran CG, Apivatthakakul T, editors. AO Principles of Fracture Management. 3rd ed. Stuttgart-New York: Thieme; 2018.
2. Tornetta P III, Ricci WM, Ostrum RF, McQueen MM, McKee MD, Court-Brown CM, editors. Rockwood and Green's Fractures in Adults. 9th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2020.
3. Marsh JL, Slongo TF, Agel J, Broderick JS, Creevey W, DeCoster TA, et al. Fracture and dislocation classification compendium – 2007: Orthopaedic Trauma Association classification, database and outcomes committee. J Orthop Trauma. 2007;21(10 Suppl):S1-133.
4. Meinberg EG, Agel J, Roberts CS, Karam MD, Kellam JF. Fracture and Dislocation Classification Compendium – 2018. J Orthop Trauma. 2018;32 Suppl 1:S1-S170.
5. Sop JL, Sop A. Open Fracture Management [aggiornato 8 ago 2023]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Bookshelf ID: NBK448083.
6. Einhorn TA, Gerstenfeld LC. Fracture healing: mechanisms and interventions. Nat Rev Rheumatol. 2015;11(1):45-54.
7. Marsell R, Einhorn TA. The biology of fracture healing. Injury. 2011;42(6):551-5.
8. Perren SM. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. J Bone Joint Surg Br. 2002;84(8):1093-110.
9. Claes L, Recknagel S, Ignatius A. Fracture healing under healthy and inflammatory conditions. Nat Rev Rheumatol. 2012;8(3):133-43.
10. Einhorn TA. The cell and molecular biology of fracture healing. Clin Orthop Relat Res. 1998;(355 Suppl):S7-21.
11. Joyce ME, Roberts AB, Sporn MB, Bolander ME. Transforming growth factor-beta and the initiation of chondrogenesis and osteogenesis in the rat femur. J Cell Biol. 1990;110(6):2195-207.

12. Bahney CS, Hu DP, Taylor AJ, Ferro F, Britz HM, Hallgrimsson B, et al. Stem cell-derived endochondral cartilage stimulates bone healing by tissue transformation. J Bone Miner Res. 2014;29(5):1269-82.

13. Raggatt LJ, Partridge NC. Cellular and molecular mechanisms of bone remodeling. J Biol Chem. 2010;285(33):25103-8.

14. Rowe P, Koller A, Sharma S. Physiology, Bone Remodeling [aggiornato 17 mar 2023]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Bookshelf ID: NBK499863.

15. Zura R, Mehta S, Della Rocca GJ, Steen RG. Biological risk factors for nonunion of bone fracture. JBJS Rev. 2016;4(1):e5.

16. Court-Brown CM, Bugler KE, Clement ND, Duckworth AD, McQueen MM. The epidemiology of open fractures in adults. A 15-year review. Injury. 2012;43(6):891-7.

17. Gustilo RB, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. J Bone Joint Surg Am. 1976;58(4):453-8.

18. Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. J Trauma. 1984;24(8):742-6.

19. Brumback RJ, Jones AL. Interobserver agreement in the classification of open fractures of the tibia. The results of a survey of two hundred and forty-five orthopaedic surgeons. J Bone Joint Surg Am. 1994;76(8):1162-6.

20. Griffin M, Malahias M, Hindocha S, Khan W. Update on the management of compound lower limb fractures. Open Orthop J. 2012;6:518-24. doi:10.2174/1874325001206010518.

21. Whiting PS, Obremskey W, Johal H, Shearer D, Volgas D, Balogh ZJ. Open fractures: evidence-based best practices. OTA Int. 2024;7(3 Suppl):e313. doi:10.1097/OI9.0000000000000313.

22. Sandean D. Open fractures – what is the evidence, and how can we improve? Arch Bone Jt Surg. 2021;9(5):559-66. doi:10.22038/abjs.2020.53120.2637.

23. Papakostidis C, Kanakaris NK, Pretel J, Faour O, Morell DJ, Giannoudis PV. Prevalence of complications of open tibial shaft fractures stratified as per the Gustilo-Anderson classification. Injury. 2011;42(12):1408-15.

24. Bosse MJ, MacKenzie EJ, Kellam JF, Burgess AR, Webb LX, Swiontkowski MF, et al. An analysis of outcomes of reconstruction or amputation after leg-threatening injuries. N Engl J Med. 2002;347(24):1924-31.

25. Metsemakers WJ, Morgenstern M, McNally MA, Moriarty TF, McFadyen I, Scarborough M, et al. Fracture-related infection: a consensus on definition from an international expert group. Injury. 2018;49(3):505-10.

26. Dheenadhayalan J, Nagashree V, Devendra A, Velmurugesan PS, Rajasekaran S. Management of open fractures: a narrative review. J Clin Orthop Trauma. 2023;44:102246. doi:10.1016/j.jcot.2023.102246.

27. Eccles S, Handley B, Khan U, McFadyen I, Nanchahal J, Nayagam S, editors. Standards for the Management of Open Fractures. Oxford: Oxford University Press; 2020.

28. Lack WD, Karunakar MA, Angerame MR, Seymour RB, Sims S, Kellam JF, et al. Type III open tibia fractures: immediate antibiotic prophylaxis minimizes infection. J Orthop Trauma. 2015;29(1):1-6.

29. Pollak AN, Jones AL, Castillo RC, Bosse MJ, MacKenzie EJ; LEAP Study Group. The relationship between time to surgical debridement and incidence of infection after open high-energy lower extremity trauma. J Bone Joint Surg Am. 2010;92(1):7-15.

30. FLOW Investigators; Bhandari M, Jeray KJ, Petrisor BA, Devereaux PJ, Heels-Ansdell D, Schemitsch EH, et al. A trial of wound irrigation in the initial management of open fracture wounds. N Engl J Med. 2015;373(27):2629-41.

31. Godina M. Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. Plast Reconstr Surg. 1986;78(3):285-92.

32. Gopal S, Majumder S, Batchelor AG, Knight SL, De Boer P, Smith RM. Fix and flap: the radical orthopaedic and plastic treatment of severe open fractures of the tibia. J Bone Joint Surg Br. 2000;82(7):959-66.

33. Costa ML, Achten J, Bruce J, Tutton E, Petrou S, Lamb SE, et al. Effect of negative pressure wound therapy vs standard wound management on 12-month disability among adults with severe open fracture of the lower limb: the WOLLF randomized clinical trial. JAMA. 2018;319(22):2280-8.

34. Rondanelli AM, Gómez-Sierra MA, Ossa AA, Hernández RD, Torres M. Damage control in orthopaedical and traumatology. Colomb Med (Cali). 2021;52(2):e4184802. doi:10.25100/cm.v52i2.4802.

35. Volpin G, Pfeifer R, Saveski J, Hasani I, Cohen M, Pape HC. Damage control orthopaedics in polytraumatized patients – current concepts. J Clin Orthop Trauma. 2021;12(1):72-82. doi:10.1016/j.jcot.2020.10.018.

36. Scalea TM, Boswell SA, Scott JD, Mitchell KA, Kramer ME, Pollak AN. External fixation as a bridge to intramedullary nailing for patients with multiple injuries and with femur fractures: damage control orthopedics. J Trauma. 2000;48(4):613-21.

37. Giannoudis PV. Surgical priorities in damage control in polytrauma. J Bone Joint Surg Br. 2003;85(4):478-83.

38. Pape HC, Hildebrand F, Pertschy S, Zelle B, Garapati R, Grimme K, et al. Changes in the management of femoral shaft fractures in polytrauma patients: from early total care to damage control orthopedic surgery. J Trauma. 2002;53(3):452-61.

39. Guerado E, Bertrand ML, Cano JR, Cerván AM, Galán A. Damage control orthopaedics: state of the art. World J Orthop. 2019;10(1):1-13. doi:10.5312/wjo.v10.i1.1.

40. Pape HC, Halvachizadeh S, Leenen L, Velmahos GD, Buckley R, Giannoudis PV. Timing of major fracture care in polytrauma patients – an update on principles, parameters and strategies for 2020. Injury. 2019;50(10):1656-70.

41. Gupta B, Farooque K. Early total care to early appropriate care – what every anesthesiologist must know! J Anaesthesiol Clin Pharmacol. 2023;39(1):3-10. doi:10.4103/joacp.joacp_157_21.

42. Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, Scheinberg R. Early versus delayed stabilization of femoral fractures. A prospective randomized study. J Bone Joint Surg Am. 1989;71(3):336-40.

43. Pape HC, Rixen D, Morley J, Husebye EE, Mueller M, Dumont C, et al. Impact of the method of initial stabilization for femoral shaft fractures in patients with multiple injuries at risk for complications (borderline patients). Ann Surg. 2007;246(3):491-9.

44. Vallier HA, Moore TA, Como JJ, Wilczewski PA, Steinmetz MP, Wagner KG, et al. Early appropriate care: a protocol to standardize resuscitation assessment and to expedite fracture care reduces hospital stay and enhances revenue. J Orthop Trauma. 2013;27(10):543-51.

45. Lakhani A, Choubey U, Aggarwal K, Trivedi YV, Singh B, Jain R. Caught in the crossroads: damage control orthopedics versus early total care for polytrauma in the Indian scenario. Ann Afr Med. 2026;25(4):745-52. doi:10.4103/aam.aam_255_25.

46. Behrens F. General theory and principles of external fixation. Clin Orthop Relat Res. 1989;(241):15-23.

47. Hadeed A, Werntz RL, Varacallo MA. External Fixation Principles and Overview [aggiornato 4 ago 2023]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-.

48. Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. Clin Orthop Relat Res. 1989;(238):249-81.

49. Green SA. Complications of external skeletal fixation. Clin Orthop Relat Res. 1983;(180):109-16.

50. Behrens F. A primer of fixator devices and configurations. Clin Orthop Relat Res. 1989;(241):5-14.

51. Fragomen AT, Rozbruch SR. The mechanics of external fixation. HSS J. 2007;3(1):13-29. doi:10.1007/s11420-006-9025-0.

52. Moroni A, Faldini C, Marchetti S, Manca M, Consoli V, Giannini S. Improvement of the bone-pin interface strength in osteoporotic bone with use of hydroxyapatite-coated tapered external-fixation pins. A prospective, randomized clinical study of wrist fractures. J Bone Joint Surg Am. 2001;83(5):717-21.

53. Jennison T, McNally M, Pandit H. Prevention of infection in external fixator pin sites. Acta Biomater. 2014;10(2):595-603.

54. Putnam MD, Walsh TM 4th. External fixation for open fractures of the upper extremity. Hand Clin. 1993;9(4):613-23.

55. Moses MJ, Tejwani NC. The role of external fixation in the management of upper extremity fractures. J Am Acad Orthop Surg. 2023;31(16):860-70. doi:10.5435/JAAOS-D-22-00077.

56. Watson MA, Mathias KJ, Maffulli N. External ring fixators: an overview. Proc Inst Mech Eng H. 2000;214(5):459-70. doi:10.1243/0954411001535480.

57. Fernando PLN, Abeygunawardane A, Wijesinghe P, Dharmaratne P, Silva P. An engineering review of external fixators. Med Eng Phys. 2021;98:91-103. doi:10.1016/j.medengphy.2021.11.002.

58. Gonzalez MR, Mendez-Guerra C, Inchaustegui ML, de la Blanca JCG, Pretell-Mazzini JA. Perioperative risks associated with the use of external fixators in adult and pediatric patients with trauma. Orthop Clin North Am. 2025;56(2):81-91. doi:10.1016/j.ocl.2024.10.002.

59. Parameswaran AD, Roberts CS, Seligson D, Voor M. Pin tract infection with contemporary external fixation: how much of a problem? J Orthop Trauma. 2003;17(7):503-7.

60. Checketts RG, MacEachern AG, Otterburn M. Pin track infection and the principles of pin site care. In: De Bastiani G, Apley AG, Goldberg A, editors. Orthofix External Fixation in Trauma and Orthopaedics. London: Springer; 2000. p. 97-103.

61. Scarano K, Smith V, Bair J. Iatrogenic metacarpal shaft fracture following distal radius external fixator removal in clinic. Case Rep Orthop. 2026;2026:2443237. doi:10.1155/cro/2443237.

62. Della Rocca GJ, Crist BD. External fixation versus conversion to intramedullary nailing for definitive management of closed fractures of the femoral and tibial shaft. J Am Acad Orthop Surg. 2006;14(10 Spec No.):S131-5.

63. Nowotarski PJ, Turen CH, Brumback RJ, Scarboro JM. Conversion of external fixation to intramedullary nailing for fractures of the shaft of the femur in multiply injured patients. J Bone Joint Surg Am. 2000;82(6):781-8.

64. Bhandari M, Zlowodzki M, Tornetta P 3rd, Schmidt A, Templeman DC. Intramedullary nailing following external fixation in femoral and tibial shaft fractures. J Orthop Trauma. 2005;19(2):140-4.

65. González-Morgado D, Fabado-Tortajada P, Nomdedéu J, Teixidor-Serra J, Tomàs-Hernández J, Joshi-Jubert N, et al. External fixation to intramedullary nailing for femoral and tibial fractures: an eleven-year cohort study at a level I trauma center. Eur J Orthop Surg Traumatol. 2025;35(1):219. doi:10.1007/s00590-025-04282-9.

66. Al-Rashid M, Khan W, Vemulapalli K. Principles of fracture fixation in orthopaedic trauma surgery. J Perioper Pract. 2010;20(3):113-7. doi:10.1177/175045891002000305.

67. Zhang H, Xu S, Ding X, et al. Design of internal fixation implants for fracture: a review. J Orthop Translat. 2025;50:306-32. doi:10.1016/j.jot.2024.09.012.

68. Wagner M. General principles for the clinical use of the LCP. Injury. 2003;34 Suppl 2:B31-42. doi:10.1016/j.injury.2003.09.023.

69. Giannoudis PV, Schneider E. Principles of fixation of osteoporotic fractures. J Bone Joint Surg Br. 2006;88(10):1272-8. doi:10.1302/0301-620X.88B10.17683.

70. Study to Prospectively Evaluate Reamed Intramedullary Nails in Patients with Tibial Fractures (SPRINT) Investigators; Bhandari M, Guyatt G, Tornetta P 3rd, Schemitsch EH, Swiontkowski M, et al. Randomized trial of reamed and unreamed intramedullary nailing of tibial shaft fractures. J Bone Joint Surg Am. 2008;90(12):2567-78.

71. Zelle BA, Bhandari M, Espiritu M, Koval KJ, Zlowodzki M. Treatment of distal tibia fractures without articular involvement: a systematic review of 1125 fractures. J Orthop Trauma. 2006;20(1):76-9.

72. Hayes JS, Richards RG. The use of titanium and stainless steel in fracture fixation. Expert Rev Med Devices. 2010;7(6):843-53. doi:10.1586/erd.10.53.

73. Geerts WH, Code KI, Jay RM, Chen E, Szalai JP. A prospective study of venous thromboembolism after major trauma. N Engl J Med. 1994;331(24):1601-6.

# SITOGRAFIA

S1. AO Surgery Reference. Principles of management of open fractures. https://surgeryreference.aofoundation.org/orthopedic-trauma/adult-trauma/further-reading/principles-of-management-of-open-fractures

# ALLEGATI

## Ringraziamenti

Desidero rivolgere un sincero e sentito ringraziamento al Professor Antonio Pompilio Gigante, Relatore di questa tesi, per avermi dato l'opportunità di frequentare il reparto di ortopedia e di vivere un'esperienza formativa preziosa, permettendomi di avvicinarmi alla realtà clinica e di arricchire il mio percorso universitario. Lo ringrazio inoltre per avermi dato la possibilità di concretizzare questo studio e per la fiducia dimostratami in questo percorso.

Un ringraziamento speciale va anche al Professor Luca Farinelli, mio Correlatore, per la costante disponibilità, l'aiuto e l'attenzione che mi ha dedicato durante la realizzazione di questo lavoro e per avermi accompagnato con professionalità e pazienza. Il suo contributo è stato indispensabile per la realizzazione di questa tesi.