

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI  
"FEDERICO II"**



**FACOLTA' DI MEDICINA VETERINARIA  
Dipartimento di Scienze Cliniche Veterinarie  
Sezione di Clinica Chirurgica**

**Dottorato di Ricerca in Scienze Cliniche e Farmaco-  
Tossicologiche Veterinarie**

**(Coordinatore: Prof. Angelo Persechino)**

**PSEUDOARTROSI NEI PICCOLI ANIMALI:  
RISULTATI TERAPEUTICI CON L'IMPIEGO  
DELLO STRUMENTARIO DI ILIZAROV**

**Docente guida:**

**Ch.mo Prof.: Agostino Potena**

**Tesi di Dottorato della**

**Dott.ssa Manuela Ragozzino**

**XVIII DOTTORATO DI RICERCA  
2002-2005**

# INDICE

<i>Introduzione</i>	<i>pag.6</i>
<i>Capitolo 1:</i>	
<i>Biologia della guarigione delle fratture</i>	<i>pag.8</i>
<i>Capitolo 2:</i>	
• <i>Definizione</i>	<i>pag.15</i>
• <i>Fattori di rischio e cause predisponenti</i>	<i>pag.16</i>
<i>Capitolo 3:</i>	
<i>Classificazione delle pseudoartrosi</i>	<i>pag.20</i>
• <i>Pseudoartrosi vitali</i>	<i>pag.23</i>
• <i>Pseudoartrosi non vitali</i>	<i>pag.26</i>
<i>Capitolo 4:</i>	
<i>Caratterizzazione istologica</i>	<i>pag.32</i>
<i>Capitolo 5:</i>	
<i>Diagnosi</i>	<i>pag.34</i>
• <i>Anamnesi</i>	<i>pag.34</i>
• <i>Segnalamento</i>	<i>pag. 34</i>

- *Esame Clinico* *pag.35*
- *Esame Radiografico* *pag.35*
- *Altre tecniche diagnostiche* *pag.36*

### **Capitolo 6:**

- *Incidenza nell'uomo* *pag.38*
- *Incidenza nel cane* *pag.40*

### **Capitolo 7:**

#### ***Trattamento chirurgico*** *pag.42*

- *Fissazione interna* *pag.43*
- *Fissazione esterna* *pag.47*
- *Combinazione di fissazione ed innesto osseo* *pag.49*

### **Capitolo 8:**

#### ***Tecniche di trattamento alternative a quelle chirurgiche*** *pag.56*

- *Stimolazione elettrica e magnetica* *pag.56*
- *Stimolazione con ultrasuoni* *pag.59*
- *Shock con ondata extracorporea ad alta*

<i>energia (ESW: terapia a onde d'urto)</i>	<i>pag.59</i>
• <i>Iniezione percutanea di osso midollare autogeno</i>	<i>pag.62</i>
• <i>Molecole osteoinduttive</i>	<i>pag.62</i>
<i>Capitolo 9:</i>	
<i>Approccio chirurgico ai vari tipi di pseudoartrosi</i>	<i>pag.63</i>
<i>Capitolo 10:</i>	
<i>Tecnica dell'osteogenesi per distrazione mediante l'uso del fissatore di Ilizarov</i>	<i>pag.67</i>
• <i>Fattori clinici che influenzano l'osteogenesi distrattiva</i>	<i>pag.72</i>
• <i>Fattori che influenzano il trattamento delle pseudoartrosi</i>	<i>pag.77</i>
<i>Capitolo 11:</i>	
<i>Impiego del fissatore esterno circolare nel trattamento delle pseudoartrosi</i>	<i>pag.81</i>

• <i>Indicazioni all'utilizzo del fissatore di Ilizarov</i>	<i>pag.83</i>
• <i>Tecnica del trasporto osseo</i>	<i>pag.83</i>
• <i>Struttura del fissatore di Ilizarov</i>	<i>pag.85</i>
• <i>Vantaggi della tecnica di Ilizarov</i>	<i>pag.86</i>
• <i>Svantaggi e complicanze del fissatore di Ilizarov</i>	<i>pag.87</i>
 <i>Capitolo 12:</i>	
<i>Casistica Clinica</i>	<i>pag.89</i>
<i>Conclusioni</i>	<i>pag.128</i>
<i>Bibliografia</i>	<i>pag.130</i>

## ***INTRODUZIONE***

La mancata riparazione di una frattura, definita con il termine di pseudoartrosi, rappresenta una patologia comune nella pratica ortopedica sia in campo umano che veterinario.

Nonostante i molti studi effettuati negli anni, miranti alla prevenzione delle pseudoartrosi, persistono ancora, nella pratica clinica, significative percentuali di mancato consolidamento nella guarigione delle fratture nei piccoli animali.

Le cause che portano alla mancata guarigione delle fratture possono essere molteplici ed esistono, inoltre, distretti anatomici particolarmente a rischio per l'insorgenza di tale complicanza, ma tra tutte la causa vascolare deve essere, per certo, considerata di particolare rilevanza.

E' fondamentale ricordare le difficoltà che si incontrano, durante il trattamento delle fratture, nel controllo delle sollecitazioni statiche e dinamiche che interessano alcuni segmenti ossei a causa delle loro caratteristiche anatomiche.

I fattori meccanici, sicuramente influenzano la qualità, la quantità e la velocità dell'osteogenesi, mentre l'azione negativa del danno vascolare, indubbiamente importante, sembra poter essere compensata sufficientemente da una valida osteosintesi che non disturbi la rivascolarizzazione e la neoangiogenesi.

Non vi sono dubbi sul fatto che le pseudoartrosi, non guariscano spontaneamente ma viste le molteplici cause che le determinano, le

varie forme e i livelli di gravità che le caratterizzano, gli approcci terapeutici sono di conseguenza svariati.

Scopo di questo lavoro è descrivere, in primo luogo, le caratteristiche di questa patologia, con riferimento particolare ai vari protocolli terapeutici, chirurgici e non; si procederà, quindi, ad analizzare la casistica sviluppata presso la Sezione di Chirurgia del Dipartimento di Scienze Cliniche Veterinarie sui piccoli animali.

Tale casistica caratterizzata prevalentemente dall'impiego dello strumentario di Ilizarov, le cui caratteristiche di versatilità sono state adattate ed ottimizzate per l'impiego in animali di taglie molto diverse tra loro.

# CAPITOLO 1

## ***BIOLOGIA DELLA GUARIGIONE DELLE FRATTURE***

Il processo riparativo di una frattura (osteogenesi riparativa) ha due prerequisiti fondamentali:

- un apporto di sangue adeguato
- un ambiente meccanicamente stabile per la deposizione di osso.

La riparazione di una frattura può avvenire mediante una forma diretta (o di prima intenzione) ed una forma indiretta (o di seconda intenzione o per callo).

Nella riparazione diretta non è evidenziabile la formazione di un callo osseo interframmentario.

Nelle fratture che guariscono in maniera diretta, la vascolarizzazione ossea non è danneggiata, ci sono buone condizioni di asepsi ed esiste una perfetta riduzione chirurgica dei monconi, con una compressione interframmentaria moderata e continua.

Quando le condizioni precedenti non sono tutte presenti, si realizza una guarigione per callo osseo, con formazione di un evidente tessuto interframmentario che mineralizza e va a colmare la perdita di sostanza. *(S. Gary Brown et al., 2001).*

La guarigione del tessuto osseo, in seguito ad una frattura, inizia con la formazione di un ematoma nel focolaio traumatico per rottura dei vasi intraossei, periostali e circostanti il focolaio.

In corrispondenza dei margini della frattura l'osso va in necrosi.

Il materiale necrotico sarà rimosso da cellule infiammatorie quali: macrofagi, leucociti, mastociti e fibroblasti che infiltrano il coagulo.

Il coagulo si organizza, grazie alla presenza di vasi e di fibre collagene; successivamente le cellule progenitrici dell'osso, dello strato cambiale del periostio e dell'endostio, proliferano, formando gli osteoblasti e i condroblasti che invadono il coagulo(**Fig.1-2**).

Si forma un callo composto da tessuto osteoide, cartilagine e collagene.

La fibrocartilagine sarà poi rimpiazzata per un processo di ossificazione encondrale membranosa (fase della mineralizzazione).

La fase successiva è il cosiddetto rimodellamento dell'osso(**Fig.3**).

Il rimodellamento favorisce la correzione dei difetti di allineamento e la sostituzione dell'osso a fibre intrecciate con osso lamellare.

Nel callo osseo che si forma dopo una guarigione per seconda intenzione, si verifica un rimaneggiamento interno che determina una progressiva diminuzione del tessuto neoformato, poichè le parti non sollecitate vanno incontro a fenomeni di riassorbimento, si verifica, inoltre, un orientamento spaziale definitivo delle lamelle e ricostituzione del canale midollare nelle ossa lunghe.

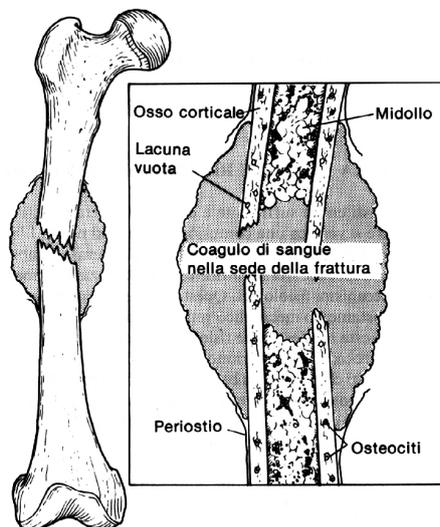
La deposizione di nuovo osso lamellare spugnoso, vale a dire l'osso secondario, è orientata secondo linee di forza di compressione

(versante concavo dell'osso) o di trazione (versante convesso dell'osso).

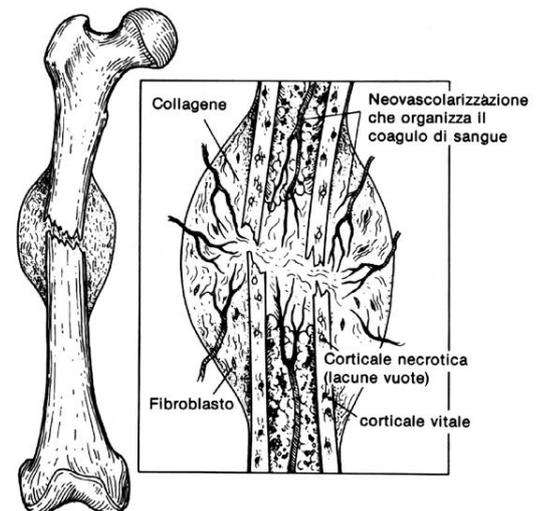
Alcuni studi dimostrano che, una precoce stabilità e rigidità dell'osteosintesi, diminuisce il movimento interframmentario, con una conseguente adeguata formazione del callo durante le prime fasi del processo di guarigione.

Applicando, invece, il carico dopo le prime fasi del processo di differenziazione cellulare nel callo, lo stimolo meccanico sulla frattura aumenta la rivascolarizzazione e la formazione del callo stesso.

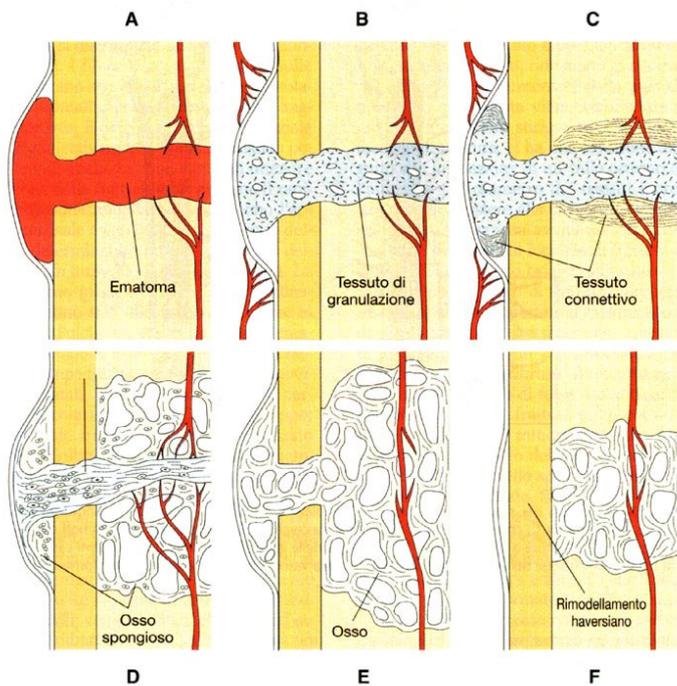
È quindi importante la stabilizzazione precoce del focolaio; inoltre, dopo gli stadi iniziali dell'osteogenesi riparativa, il carico e la sollecitazione interframmentaria stimolano la formazione e l'evoluzione del callo e quindi di un osso neoformato più resistente.



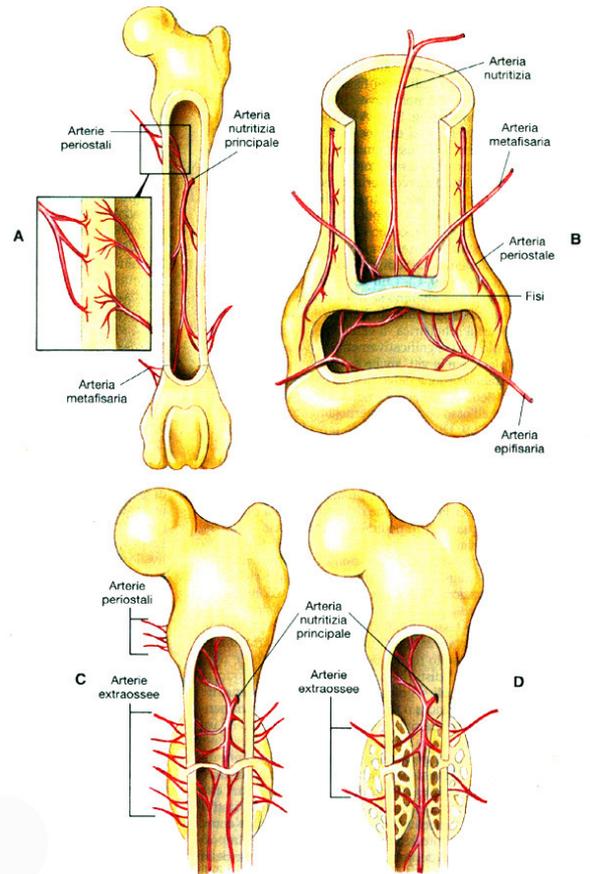
**Fig. 1** Il trauma iniziale porta emorragia e necrosi dell'osso corticale



**Fig. 2** Risposta infiammatoria acuta con organizzazione dell'ematoma



**Fig. 3**  
**A. Difetto colmato dall'ematoma che viene sostituito**  
**B. Tessuto di granulazione**  
**C. Tessuto connettivo**  
**D. Fibrocartilagine**  
**E. Osso**  
**F. Rimodellamento Haversiano**



**Figura 4. Vascolarizzazione dell'osso. A Normale; B Immaturo; C Fratturato (apporto ematico extraosseo); D In via di guarigione**

La guarigione per prima intenzione o diretta è un processo cicatriziale in cui non è evidenziabile un callo osseo interframmentario.

L'ossificazione avviene senza le tappe intermedie di formazione del tessuto connettivo e cartilagineo.

La guarigione diretta dipende dalla compressione interframmentaria.

Infatti è la mobilità interframmentaria che avvia il riassorbimento della superficie ossea.

Lungo la linea di frattura, nelle zone di contatto delle corticali si verifica una rigenerazione fra i frammenti.

Il rimodellamento delle lamelle ossee neoformate avviene senza che i fenomeni di riassorbimento inducono instabilità interframmentaria.

Da ciascuno dei monconi partono delle ansate capillari che originano da capillari periostali, dai canali di Havers, di Volkmann e dall'endostio.

I bottoni vascolari si dirigono verso il tessuto osseo del moncone opposto e attraversano l'osso devitalizzato lungo la linea di frattura.

L'apice dell'ansata capillare rappresenta il fronte di erosione, in cui gli osteoclasti presenti riassorbono le lamelle ossee necrotiche.

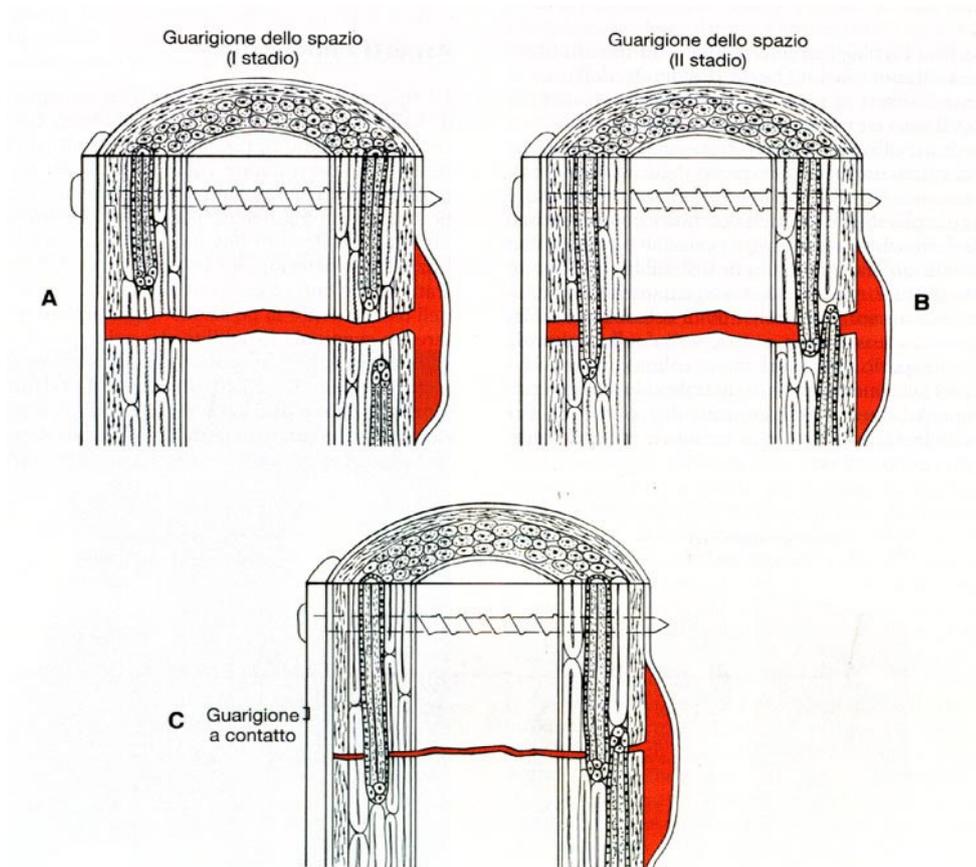
Gli osteoblasti, disposti ai lati delle ansate capillari, depongono la sostanza osteoide che successivamente mineralizza e forma l'osso lamellare.

La guarigione diretta può avvenire **per contatto** o **per spazio**.

La guarigione per contatto avviene sempre in caso di fissazione rigida.

I fattori indispensabili per questo tipo di guarigione sono: il sanguinamento dei monconi di frattura, una buona riduzione, una compressione stabile tra i capi di frattura e l'asepsi del focolaio.

Nella guarigione per spazio, si realizza la formazione diretta dell'osso lamellare in uno spazio; tale spazio trae profitto dalla compressione interframmentaria presente sulle aree strettamente contigue che provvedono alla stabilità della fissazione. (*S.M Perren;2001*).(Fig.5)



**Fig. 5** Guarigione diretta.

- A.** Nel primo stadio lo spazio è colmato da osso fibroso (gap healing)
- B.** Nel secondo stadio si ha la ricostruzione longitudinale dell'osso per il rimodellamento Haversiano
- C.** Guarigione della superficie ossea per il contatto e la fissazione rigida

## I FATTORI CHE INFLUENZANO LA GUARIGIONE DI UNA FRATTURA

Età del paziente	La guarigione è più rapida nel giovane
Infezioni	La guarigione risulta ritardata o impedita
Immobilizzazione	Il ponte osseo del callo periostale non si forma adeguatamente
Tipo di frattura	Nelle fratture intraarticolari la guarigione risulta ritardata o impedita
Segmento osseo coinvolto	L'osso spugnoso rimargina rapidamente essendo ricco di vasi e cellule rispetto all'osso corticale
Estensione della perdita ossea	
Ormoni:	L'ormone della crescita, l'ormone tiroideo, la calcitonina, l'insulina favoriscono la guarigione di una frattura
Stress sul focolaio di frattura	Allunga i tempi di riparazione

## CAPITOLO 2

### *DEFINIZIONE*

La pseudoartrosi rappresenta lo stadio in cui tutti i processi riparativi attivati in seguito ad una frattura hanno compiuto la loro evoluzione, senza che si sia raggiunto il consolidamento della frattura stessa.

Una frattura può considerarsi non unita se, nell'arco di 3 mesi successivi al suo determinarsi, non sussiste alcuna progressione della relativa guarigione.

La pseudoartrosi rappresenta, quindi, una condizione in cui il processo di riparazione si è esaurito e con esso si è persa la possibilità della guarigione.

Il termine pseudoartrosi trae origine da quelle particolari forme della patologia in cui la lesione è caratterizzata da una mobilità tale da simulare la presenza di una articolazione.

Pseudoartrosi, etimologicamente "falsa articolazione", è il termine comune, che si usa quando, si apprezza agli esami clinico e radiologico la mobilità e la persistenza di uno spazio interframmentario, colmato da tessuto fibroso e cartilagine. (*Dennis N. Aron; 1983*).

I termini di pseudoartrosi e non unione sono utilizzati dai clinici, con significato univoco.

## ***FATTORI DI RISCHIO E CAUSE PREDISPONENTI***

Le pseudoartrosi si sviluppano perché mancano le giuste condizioni per un normale processo di riparazione.

Le fratture a rischio di pseudoartrosi si verificano generalmente a seguito di traumi ad alta energia, con danno a carico dei tessuti molli circostanti e grave alterazioni del circolo midollare e periostale (es.fratture esposte di tibia).

### ***Fattori fisici predisponenti:***

- Comminuzione (compresa la perdita di sostanza ossea):

la comminuzione è una causa molto comune per il deficit vascolare dei frammenti e per l'ischemia che ne consegue.

- Immobilizzazione inadeguata:

la mobilità eccessiva è causata da una inappropriata stabilizzazione della frattura mediante l'uso di impianti interni ed esterni.

Il movimento dei frammenti incrementa l'essudazione, la quale, insieme alla neoformazione dei vasi e alle cellule, favorisce la formazione iniziale di un callo esuberante che, partendo da ciascun moncone, non tende a confluire nella stabilizzazione.

La fissazione rigida minimizza la produzione del tessuto di granulazione e del callo esterno.

- Imperfetta riduzione:

una inadeguata riduzione dei monconi di una frattura oppure la presenza di grandi perdite di sostanza ossea è una frequente causa di mancata unione. (*Piermattei DL, Flo GL; 1997*).

- Distrazione dei frammenti:

il gap tra i capi di frattura è spesso dovuto a perdita di sostanza ossea, ad interposizione di tessuti molli, a cattivo allineamento o a trazione e distrazione dei monconi da fissazione interna.

- Eccessiva compressione:

l'eccessiva compressione può essere causa di microfratture dell'osso e necrosi.

- Infezione:

l'infezione ritarda il processo di guarigione poiché abbassa il pH dei tessuti solubilizzando il calcio.

L'infezione interferisce con la vascolarizzazione, causa necrosi e sclerosi ossea ed ostacola la nutrizione del callo. (*Andrew Miller et Andrew Cughlan; 1998*).

Le fratture esposte, sono spesso causa di osteomielite ma anche la contaminazione intraoperatoria per la riduzione a cielo aperto, può essere un'altra causa di infezione ossea. (*Marvin L. Olmstead; 1994*).

Queste forme settiche sono frequentemente associate ad una insufficiente vascolarizzazione della frattura, ad un'inadeguata

copertura da parte dei tessuti molli ed a dispositivi di fissazione non stabili.

Le pseudoartrosi infette, radiologicamente, presentano una combinazione di lesioni osteoproliferative e osteodistruttive (prevalenza di quadri di atrofia); (*E. Carlos Rodriguez-Merchan et al; 2004*).

- Danni ai tessuti molli:

si verificano spesso nelle fratture esposte.

-L'interposizione dei tessuti molli separa precocemente l'ematoma di frattura, determinando la formazione di separati calli apicali, non unitivi.

- L'eccessiva quantità di materiali impiantati.

E', spesso, causa di mancato consolidamento, a causa della grave compromissione vascolare conseguente a trattamenti eccessivamente aggressivi. (*James H Beaty; 2002*).

Anche una scorretta applicazione dei dispositivi di fissazione, può rappresentare una causa di non unione, infatti, spesso un filo di cerchiaggio allentato applicato troppo vicino al focolaio di frattura può provocare movimento e inibire la guarigione oppure se eccessivamente serrato può danneggiare la vascolarizzazione impedendo la guarigione.

- Gestione postoperatoria inadeguata:

la fissazione esterna favorisce il carico precoce; il fissatore però, può cedere se sottoposto precocemente a un carico eccessivo, molto prima del consolidamento della frattura.

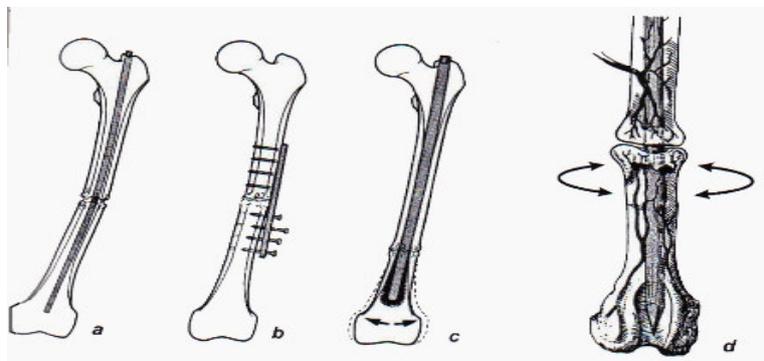
Secondo Pawels, sono i fattori meccanici i principali responsabili del mancato consolidamento di una frattura. (*G.Monticelli et al; 1991*)

#### ***Fattori predisponenti sistemici:***

L'influenza del metabolismo del calcio e del fosforo è ben documentata da Harris e Watt. (*Geoff Sumner-Smith; 2002*).

I disordini metabolici (diabete, iperadrenocorticismo, insufficienza epatica).(*Darryl L. Millis et al.;2003*).

L'uso di farmaci citotossici e di corticosteroidi.(*Geoff Sumner-Smith; 2002*).



**Fig. 6 Rappresentazione di alcune cause di pseudoartrosi**

- a) chiodo centromidollare troppo piccolo
- b) cedimento di una placca; c) chiodo centromidollare troppo corto
- d) movimenti di rotazione tra i capi di frattura

## CAPITOLO 3

### **CLASSIFICAZIONE DELLE PSEUDOARTROSI**

I criteri di classificazione delle Pseudoartrosi sono diversi:

-In base al grado di mobilità reciproca dei monconi di frattura sono divise in :

**PSEUDOARTROSI LASSE e SERRATE**

#### **1) LASSE**

Nella pseudoartrosi lassa, non vi sono segni di formazione di callo osseo, si apprezza una mobilità interframmentaria in assenza di dolore.

All'esame radiografico, la rima di frattura è ben visibile, i monconi sono assottigliati e la cavità midollare è chiusa.

Nelle pseudartrosi lasse le estremità dell'osso sono generalmente osteopeniche.(*Vladimir O; 1990*).

#### **2) SERRATE**

Nella pseudoartrosi serrata vi è la presenza di un callo fibrocartilagineo, persiste la rima di frattura; si osservano la sclerosi della estremità dei frammenti e l'addensamento della zona centrale

della frattura; le corticali hanno una minore densità e sono svasate (zampa d'elefante).(*G.Monticelli et al. 1991*).

In base al grado di reattività residuo della lesione sono distinte:

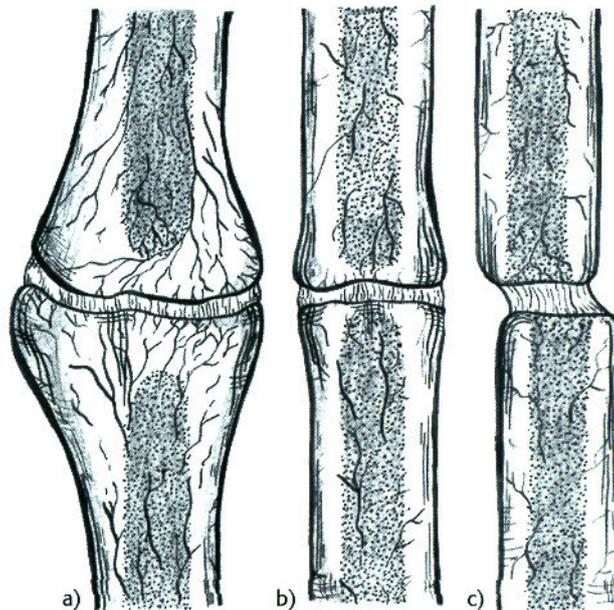
### **CLASSIFICAZIONE SECONDO WEBER E CECH (1973)**

1) PSEUDOARTROSI VITALI O VASCOLARI: sono capaci di reazione biologica

2) PSEUDOARTROSI NON VITALI O NON VASCOLARI: non capaci di reazione biologica

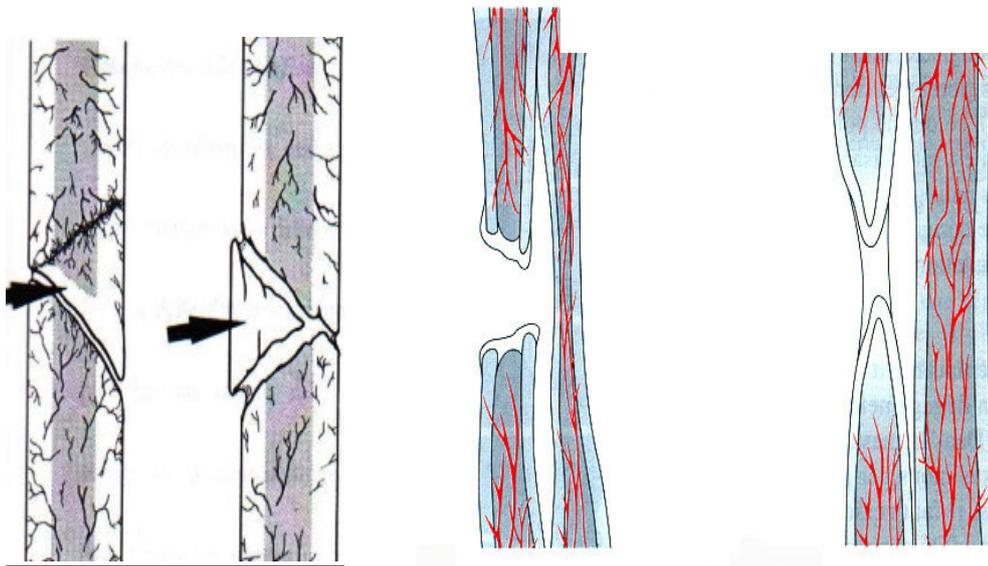
Le pseudoartrosi vitali si suddividono in (**Fig.7**):

- A. Ipertrofica
- B. Leggermente ipertrofica
- C. Oligotrofica



Le pseudoartrosi non vitali si suddividono in **(Fig. 8)**:

- A. Distrofica
- B. Necrotica
- C. Con perdita di sostanza
- D. Atrofica



*A*

*B*

*C*

*D*

**A-Pseudoartrosi distrofica**

**C -P.con perdita di sostanza**

**B-Pseudoartrosi necrotica**

**D-Pseudoartrosi atrofica**

## **PSEUDOARTROSI VITALI**

### ***PSEUDOARTROSI IPERTROFICA:***

Sono le forme più frequenti.

Sono solitamente serrate.

Etimologicamente la parola significa “ben nutrita”; infatti nella maggior parte dei casi la vascolarizzazione delle estremità dei capi di frattura è sufficiente alla guarigione, ma mancando la *stabilità* e/o il *normale allineamento assiale*, la riparazione non può avvenire.

La pseudoartrosi ipertrofica, complica un processo di guarigione indiretto, con formazione di un callo abbondante, riccamente vascolarizzato, ma che non esita nella unione dei monconi, in quanto la vascolarizzazione centripeta (verso il centro del focolaio di frattura) è disturbata dal persistere di movimenti, anche se non particolarmente ampi, dei capi di frattura.

Per questo motivo, la pressione parziale di ossigeno al centro del callo osseo, diviene molto debole e le cellule mesenchimali che normalmente si differenziano in osteoblasti durante la riparazione ossea, si trasformano in condroblasti o fibroblasti, cellule metabolicamente meno esigenti di ossigeno.

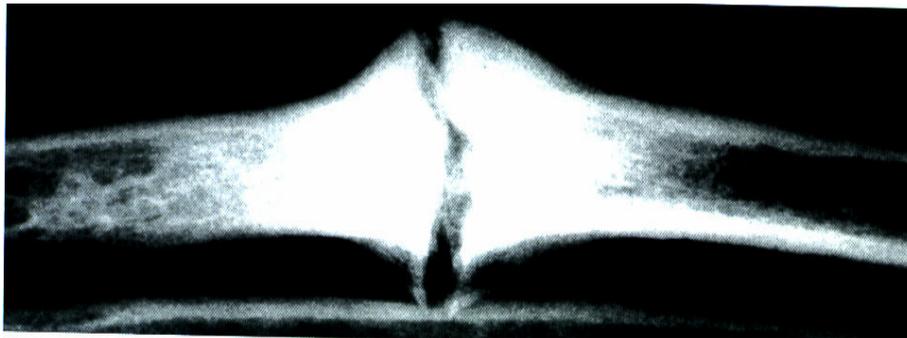
Al posto del tessuto osseo si forma un tessuto fibrocartilagineo o fibroso (non mineralizzato, quindi radiotrasparente) che separa i monconi ossei. (*Y.Latte J-A Meynard;1997*).

Radiologicamente, le pseudoartrosi ipertrofiche sono dette anche a **zampa di elefante** per la presenza di un abbondante callo ad ognuna delle estremità dei capi di frattura.

Si caratterizzano, inoltre, per una reazione ossea proliferativa con interposizione di cartilagine e tessuto fibroso (**Fig.9**).

Le cause di pseudoartrosi ipertrofica possono essere: la presenza di grosse schegge, una sepsi circoscritta, una stabilizzazione insufficiente o una precoce mobilizzazione.

Questa pseudoartrosi si verifica, nella maggioranza dei casi, nei soggetti trattati con osteosintesi centromidollare, non coadiuvata da adeguati mezzi di stabilizzazione antirotazionale dei capi di frattura. (*Bojrab M. Joseph; 1983*).



**Fig.9 Rx: non unione ipertrofica, 40 settimane dopo l'osteotomia.**  
**Notare il tessuto interframmentario radiolucido.**

### ***PSEUDOARTROSI LEGGERMENTE IPERTROFICA***

E' molto simile alla forma precedente, ma il callo periferico è meno esuberante rispetto alla pseudoartrosi ipertrofica, per cui, questa pseudoartrosi viene anche definita a **zoccolo di cavallo**.

Spesso è causata dall'utilizzo di una placca resasi successivamente instabile o che cede a causa di un intenso carico precoce.

Un intervento chirurgico troppo tardivo (7-8 gg), cui può associarsi una durata della procedura ovviamente più lunga, può rappresentare un'altra causa di questa forma di pseudoartrosi.

I movimenti abnormi dei monconi di frattura per assenza di stabilizzazione inducono una continua confricazione fra i due capi(**arto ciondolante**), per cui, si determina una reazione infiammatoria essudativa che da origine alla formazione di cavità multiple a contenuto sieroso, ed in periferia si forma una struttura fibrosa simil-capsulare.

Successivamente le cavità confluiscono in un'unica cavità che si tappezza di endotelio, mentre la porzione terminale dei capi di frattura viene ricoperta da tessuto reattivo ricco di cellule cartilaginee.

Questo tipo di pseudoartrosi è inquadrata come **pseudoartrosi fibrosinoviale**.

## ***PSEUDOARTROSI OLIGOTROFICA***

E' solitamente lassa, caratterizzata dalla presenza di una scarsa presenza di callo.

Si può verificare nel caso di fratture con grave dislocazione dei monconi oppure nei trattamenti che comportano una trazione eccessiva con diastasi dei frammenti. (*Robello GT, Aron DN; 1992*).

Si verifica, spesso, secondariamente ad interventi a cielo aperto (impiego di placca o chiodo centromidollare).

## **PSEUDOARTROSI NON VITALI**

Questo tipo di pseudoartrosi si caratterizzano per un difetto di vascolarizzazione del focolaio di frattura.

La vascolarizzazione delle estremità ossee ed il potenziale di riparazione è, in queste condizioni, significativamente diminuito. (*Leah C. Jackson, P.D Pacchiana; 2004*).

### ***PSEUDOARTROSI DISTROFICA***

Si verifica quando l'apporto vascolare su un versante del frammento intermedio è disturbato a causa di mobilità o di fessure (**frammento a farfalla incompleto**).

Possono essere secondarie all'utilizzo di cerchiaggi.

La pseudoartrosi distrofica si verifica più comunemente nei pazienti anziani.

### ***PSEUDOARTROSI NECROTICA***

Consegue a perdita dell'apporto vascolare di schegge in focolai di fratture comminute; in seguito all'osteosintesi una o più schegge possono andare incontro a necrosi e tra queste rimane uno spazio in cui si attiva la riparazione.

I capi di frattura sono assottigliati con un rigonfiamento terminale fibrocartilagineo "**a bacchetta di tamburo**".

Non si evidenzia una reazione osteogenetica, agli esami radiologico ed istologico, i monconi sono connessi tra loro da tessuto fibroso, le estremità dell'osso sono arrotondate, la cavità midollare è chiusa da osso denso trabecolare.

.

## ***PSEUDOARTROSI CON PERDITA DI SOSTANZA***

Questo tipo di pseudoartrosi si verifica in seguito ad alcune fratture scheggiose, in cui, la scheggia diafisaria, abbastanza grande perde la connessione vascolare con i frammenti principali e con i tessuti circostanti andando incontro a necrosi.

In genere, questa pseudoartrosi può conseguire anche a gravi osteomieliti con conseguente formazione di sequestri oppure può essere di origine iatrogena, nel caso di resezione di tessuto osseo neoplastico.

Gli apici dei monconi sono vitali ma la zona del difetto è priva di potenziale osteogenico (**Fig. 10**).



**Fig. 10** Rx pseudoartrosi con perdita di sostanza

Classificazione clinica e radiologica delle pseudoartrosi tibiali nell'uomo in base alla presenza o assenza di una perdita ossea superiore a 1 centimetro. (*Dror Paley, M.A Catagni et al.; 1989*).

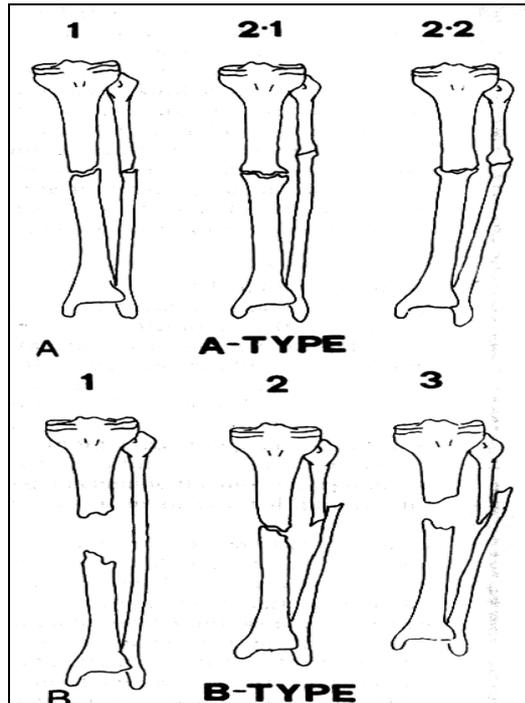
**La pseudoartrosi tipo A** è quella senza perdita ossea; questa può essere ulteriormente suddivisa in: **pseudoartrosi tipo A2** (SERRATA) con una deformità rigida e **pseudoartrosi tipo A1** (LASSA) con una deformità mobile.

**La pseudoartrosi tipo A2-1** è una forma serrata ma senza deformità, quella **A2-2** è rigida con deformità fissa.

**La pseudoartrosi tipo B** è caratterizzata da una perdita ossea.

**La pseudoartrosi tipo B1** si caratterizza per la presenza di un difetto osseo senza accorciamento dello stesso; invece, nel **tipo B2** l'accorciamento dell'osso non si accompagna alla presenza di un difetto osseo.

Nella **pseudoartrosi tipo B3** è presente sia il difetto osseo che l'accorciamento (**Fig. 11**).



**Fig.11 Classificazione schematica delle pseudoartrosi tibiali nell'uomo in base alla presenza o assenza di un difetto osseo superiore a 1 centimetro.**

### ***PSEUDOARTROSI ATROFICA***

La pseudoartrosi atrofica, è il risultato finale delle forme distrofiche, necrotiche e con perdita di sostanza.

Consegue ad insufficiente vascolarizzazione o ad infezione cronica o a prolungato mancato carico dell'arto.

Il focolaio di frattura si caratterizza per la mancanza di capacità osteogenetica.

Radiologicamente i capi di frattura si presentano assottigliati per il parziale riassorbimento e il canale midollare si presenta obliterato.

### ***PSEUDOARTROSI LIBERA***

Consegue ad interposizione di tessuti molli tra i capi di frattura.

Ne consegue la formazione di due calli ossei completamente indipendenti perchè i tessuti molli interposti hanno impedito il contatto interframmentario.

## CAPITOLO 4

### CARATTERIZZAZIONE ISTOLOGICA

Le pseudoartrosi, da un punto di vista istologico, possono presentare una maggiore quantità di callo rispetto ad un normale focolo di frattura in via di consolidamento.

Istologicamente è possibile osservare a livello del focolo, la formazione di un tessuto osseo in corrispondenza di ciascun capo di frattura a partire da un callo periostale ed endostale, tuttavia non si verifica una ossificazione interframmentaria.

Il tessuto interframmentario è caratterizzato da una zona di fibrocartilagine non mineralizzata.

Si notano le gemme vascolari che partono dai capi di frattura con segni di condroclasia ed osteogenesi, proprio a testimoniare un tentativo di rimaneggiamento dell'osso; tuttavia le ansate vascolari non penetrano la cartilagine fibrosa interframmentaria. (*Weber B.G., Cech O, 1989*).

Questa rappresentazione del quadro istologico della pseudoartrosi riflette la media delle circostanze più frequentemente osservate, è opportuno ad ogni modo ricordare che in ciascuna specifica circostanza si possono osservare variabili quantitative del quadro stesso, soprattutto per quanto riguarda la presenza della cartilagine e la condizione vascolare dei monconi (**Fig.12**).



**Fig. 12 Sezione istologica di una pseudoartrosi vitale ipertrofica:  
la freccia indica il tessuto cartilagineo interframmentario**

## **CAPITOLO 5**

### **DIAGNOSI**

Una diagnosi di pseudoartrosi non è giustificata se non in presenza di elementi clinici e radiologici inconfutabili a dimostrare che il processo riparativo si è esaurito e che il consolidamento è quanto mai improbabile.

L'esito infausto alla guarigione di una frattura può essere la formazione di una pseudoartrosi tipica.

### ***ANAMNESI***

La storia clinica è importante per valutare il tempo presunto per una normale guarigione.

Nell'uomo una frattura della diafisi di un osso lungo può dare luogo a una pseudoartrosi se, trascorsi almeno sei mesi dal trauma, non si è raggiunta la guarigione; invece, per le fratture medialali del collo del femore, si può parlare di mancato consolidamento già dopo tre mesi.

### ***SEGNALAMENTO***

L'età del paziente ci permette di stabilire approssimativamente il tempo di guarigione della frattura (i giovani hanno tempi di

guarigione rapidi, in genere sono sufficienti 30 giorni, mentre negli adulti, i tempi di guarigione si raddoppiano).

La **specie**: nel cane, l'incidenza della pseudoartrosi è maggiore rispetto al gatto.

La **razza**: non esiste una predisposizione di razza, anche se quelle di piccola e media taglia sono più colpite.

### ***ESAME CLINICO***

-Il dolore è generalmente lieve (dopo 12-15 settimane il dolore è quasi assente)

-L'uso dell'arto è, di norma, minimo o del tutto assente (atrofia muscolare da disuso), anche se non si possono escludere casi in cui l'adattamento funzionale consente un impiego anche significativo dell'arto (pseudoartrosi iuxta-intra-articolari)

-E' presente deformità della regione (accorciamento, rotazione) ed atrofia muscolare.

-Rigidità articolare

-Movimenti non fisiologici sul focolaio: spesso la zona può assumere il movimento dell'articolazione adiacente.

### ***ESAME RADIOGRAFICO***

Presenza di una linea radiotrasparente, i cui caratteri possono essere anche morfologicamente complessi, che attraversa il sito di frattura;

Chiusura della cavità midollare con sclerosi dei margini dell'osso fratturato; riassorbimento osseo oppure osteoporosi al di sopra o al di sotto del sito di frattura. (*David M. Nunamaker et al.; 1985*).

## **ALTRE TECNICHE DIAGNOSTICHE**

### ***OSTEOMIDOLLOGRAFIA***

E'una tecnica citata in letteratura ma ampiamente superata.

La tecnica di flebografia intraossea, conosciuta come *osteomidollografia*, è un metodo per accertare la riparazione ossea e quindi diagnosticare una non unione o un ritardo di consolidamento, accertando la circolazione all'interno dell'osso. (*Puranen J, Kaski P; 1974*).

Questa tecnica è un metodo attendibile per determinare l'attività del callo nelle fratture.

In caso di pseudoartrosi, il mezzo di contrasto non passa attraverso lo spazio interframmentario.

Nella guarigione normale delle fratture, in 10 settimane si sviluppa un passaggio interosseo del mezzo di contrasto.

L'immagine dell'osteomidollografia non ritorna normale per 9-18 settimane, poiché il canale midollare rimane chiuso da nuovo osso endostale. (*Geoff Summer- Smith ;2002*).

## ***SCINTIGRAFIA OSSEA***

La scintigrafia ossea consiste nell'utilizzo di isotopi radioattivi, quali lo stronzio o il calcio che si concentrano nelle ossa.

E'una tecnica diagnostica poco usata, anche in campo umano, nella diagnosi di pseudoartrosi, pur essendo molto utile per differenziarne i vari tipi.

Si somministra per via endovenosa la sostanza marcata e con uno scintigramma si evidenzia una zona detta calda, ossia un'area dell'osso la cui vascolarizzazione è integra ed esiste un'attività osteogenetica.

La sede e l'attività dell'area viene rappresentata graficamente da un'immagine a scala colorimetrica.

## CAPITOLO 6

### ***INCIDENZA NELL'UOMO***

*Nell'uomo i principali siti di pseudoartrosi sono (James H. Beaty, 2002):*

45% TIBIA

16% FEMORE

9% OMERO

5% RADIO-ULNA, SCAFOIDE CARPALE

Frost, (*Frost HM;1973*), afferma che la pseudoartrosi si verifica generalmente nei pazienti tra i 40-60 anni.

Egli non ha, inoltre, evidenziato nessuna predisposizione di sesso.

Generalmente, il fallimento nella riparazione di una frattura in un periodo di tempo di 6-8 mesi può considerarsi una non unione (*E. Carlos Rodriguez –Merchan et al.; 2004*).

Numerosi studi confermano che nell'uomo, un fattore di rischio importante per lo sviluppo delle pseudoartrosi è sicuramente il fumo di sigaretta e l'abuso di alcool (*G.Gualdini, M. Fravisini, C. Stagni, A.Giunti ;2004*).

Adams e collaboratori in un recente studio, confrontarono pazienti con fratture esposte di tibia che fumavano, con pazienti non fumatori

con lo stesso tipo di frattura; nei primi riscontrarono una predominanza di complicanze come le pseudoartrosi (***E.Carlos Rodriguez-Merchan; 2004***).

Fin dagli anni '70 sono state descritte le correlazioni tra fenomeni di ritardo nella cicatrizzazione di lesioni dei tessuti molli ed assunzione cronica di nicotina. (***Shervin MA, Gastwirth CM; 1990***).

Nel 1986 Brown, ha evidenziato una maggiore incidenza (40%) di pseudoartrosi nei pazienti fumatori trattati con laminectomia ed artrodesi vertebrale rispetto ai non fumatori.

Nel 1994 Daftari descriveva gli effetti avversi del fumo di sigaretta nei confronti dei processi di rivascolarizzazione degli innesti ossei (***Daftari TK et al.; 1994***).

L'azione del fumo di sigaretta sui tessuti dipende dalle sostanze che si sviluppano durante la combustione della sigaretta.

Queste sostanze, determinano un'alterazione della perfusione dei tessuti con conseguenti fenomeni ipotossici e ischemici (***Jensen JA et al. ; 1991***).

La nicotina, determina sul tessuto osseo un'alterazione della fase di maturazione dei macrofagi e fibroblasti, agendo direttamente sugli osteoblasti.

## ***INCIDENZA NEL CANE***

***Principali sedi colpite: (Geoff Sumner-Smith 2002-Y.Latte J-A.Meynard; 1997).***

**Vaughan(20 casi, 1964):**

- RADIO E ULNA: 60%
- TIBIA: 25%
- FEMORE: 15%

**Atilola e Sumner-Smith (96 casi, 1984):**

- RADIO-ULNA: 40,6%,
- FEMORE: 38,5%,
- OMERO: 12,5%,
- TIBIA: 4,2%,
- MANDIBOLA: 2,1%,
- ULNA: 1%,
- RACHIDE: 1%

Le razze toy e di piccola taglia (alta incidenza della patologia) sviluppano frequentemente pseudoartrosi distali del radio e dell'ulna; ciò è conseguente non solo alla scarsa copertura locale da parte dei tessuti molli ma anche alle dimensioni ridotte di queste ossa (*Marvin L. Olmstead; 1995*) e principalmente al deficit di rivascolarizzazione del focolaio di frattura.

L'incidenza di detta patologia è più alta nei cani di età compresa tra i 2 e i 7 anni e di peso compreso tra i 7 ed i 14 kg. (*Darryl L. Millis e Aaron M. Jackson; 2003*).

## CAPITOLO 7

### TRATTAMENTO CHIRURGICO

<p><b><i>FATTORI DI RISCHIO NEL TRATTAMENTO DELLE PSEUDOARTROSI</i></b></p>
<p>Fallito trattamento precedente Tempo intercorso dalla frattura Frattura esposta o meno Presenza di infezione Frattura comminuta od obliqua Tipo di Pseudoartrosi</p>

La pseudoartrosi rappresenta una condizione in cui il processo riparativo si è esaurito, per riavviare tale processo è necessario un intervento indirizzato a stimolare l'osteogenesi riparativa ed a raggiungere la stabilità meccanica mediante adeguati sistemi di osteosintesi.

## ***FISSAZIONE INTERNA:***

### **1)FISSAZIONE INTRAMIDOLLARE**

Questo tipo di fissazione offre notevoli vantaggi, in quanto non altera l'assetto biologico della pseudoartrosi e non danneggia eccessivamente i tessuti molli.

L'alesaggio del canale midollare è il metodo di scelta per le pseudoartrosi diafisarie specialmente nelle forme ipertrofiche.

Uno svantaggio della fissazione interna è che l'apporto ematico del focolaio può essere ulteriormente compromesso dall'intervento.

### **2) FISSAZIONE CON PLACCA**

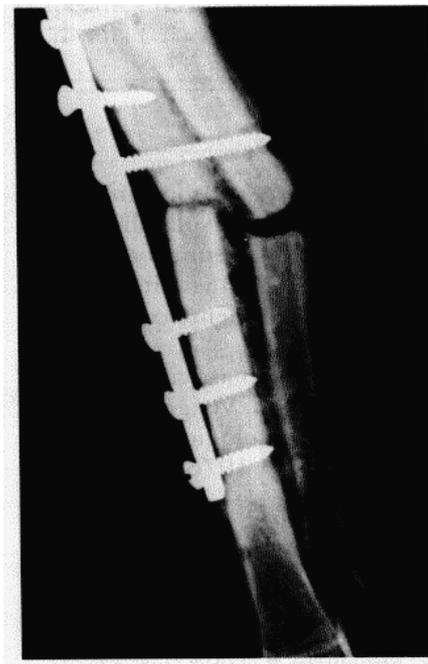
La fissazione con placca ha lo scopo di garantire una compressione interframmentaria secondo l'asse longitudinale dell'osso (**Fig.13-14**).

La fissazione con placca può essere utilizzata con o senza trapianto osseo, e possibilmente utilizzando la tecnica a compressione.

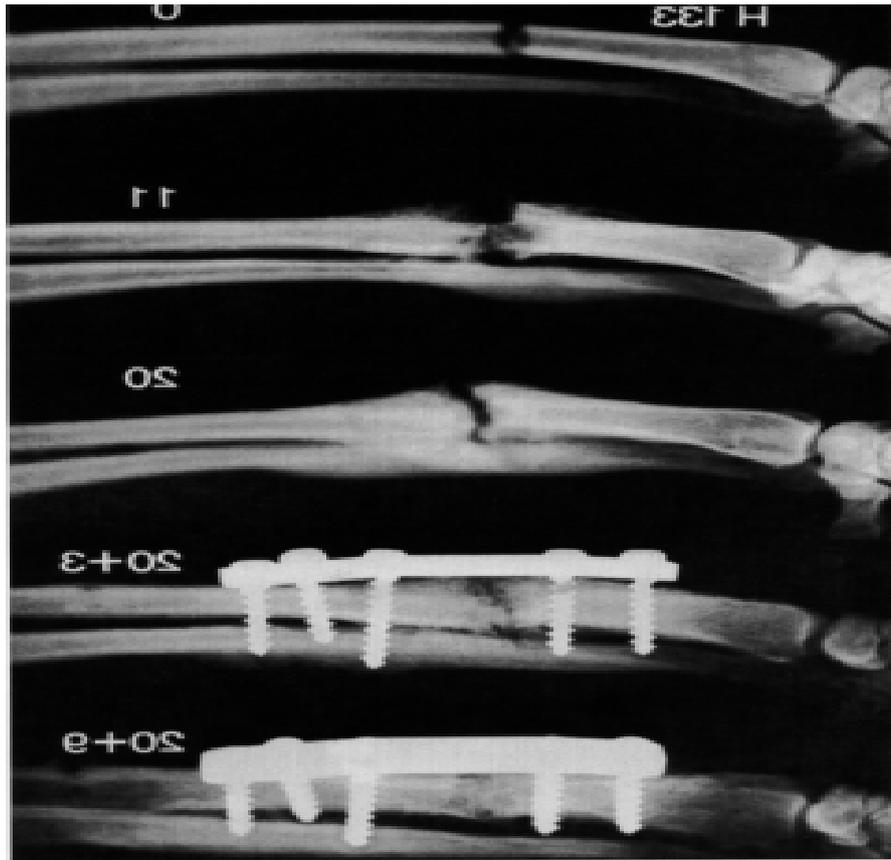
La pseudoartrosi dovrebbe essere approcciata per via smussa per salvaguardare i tessuti molli ed il periostio; il tessuto fibroso tra le due estremità ossee può non essere rimosso in quanto questo ossificherà a seguito della fissazione rigida.

Il trapianto osseo non è necessario se non quando le estremità ossee siano sclerotiche o che sia presente una mancanza di tessuto osseo conseguente al riallineamento dei capi ossei.

In questi casi non è consigliata la placca a compressione e si preferisce utilizzare quella da neutralizzazione (*E.Carlos Rodriguez; 2004*).



**Fig.13 Pseudoartrosi leggermente ipertrofica conseguente a un cedimento dell'impianto e instabilità del focolaio di frattura**



**Fig.14** Modificazioni radiologiche durante lo sviluppo della non unione e dopo fissazione rigida

I numeri indicano le settimane dopo l'osteotomia e dopo fissazione con placca.

L'unione ossea si verifica entro 8-9 settimane seguenti la fissazione rigida

### 3)FISSAZIONE CON VITI

La fissazione con viti, combinata con la placca da neutralizzazione può essere usata, anche se raramente nelle pseudoartrosi di fratture spiroidali (**Fig.15**).

La fissazione con viti non è usata nel trattamento di pseudoartrosi diafisarie (*E. C. Rodriguez; 2004*).

E', invece, molto usata nel trattamento di pseudoartrosi del carpo e del tarso, spesso in associazione al trapianto di osso spugnoso. (*Russe O. J; 1960*).



**Fig. 15** Rx frattura comminuta di tibia; fissazione con viti

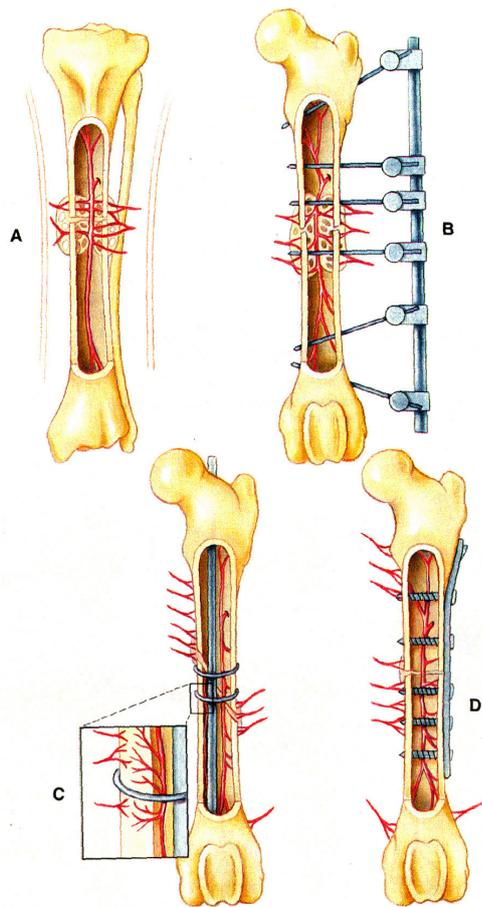
## **FISSAZIONE ESTERNA (FSE)**

I fissatori esterni rappresentano un valido sistema per il trattamento delle pseudoartrosi, sia dal punto di vista della stabilità meccanica sia da quello biologico, essendo poco invasivi e ben tollerati dal paziente. L'utilizzo del fissatore esterno dipende fondamentalmente dal tipo di lesione.

E' certamente il metodo migliore per le pseudoartrosi settiche, poiché rende agevole la sterilizzazione del focolaio infetto consentendo lavaggi frequenti del focolaio.

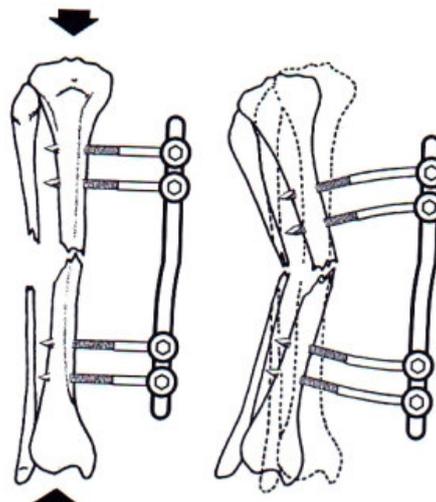
Nelle forme ipertrofiche, l'impiego della FSE ha l'obiettivo di stabilizzare l'arto e provvedere ad una adeguata compressione.

Questo tipo di fissazione è molto usato per le pseudoartrosi atrofiche di tibia (*Cannadell J. et al.; 1997*)(**Fig.16-17**).



**Figura 16** Effetto dei mezzi di fissazione nella circolazione delle ossa fratturate:

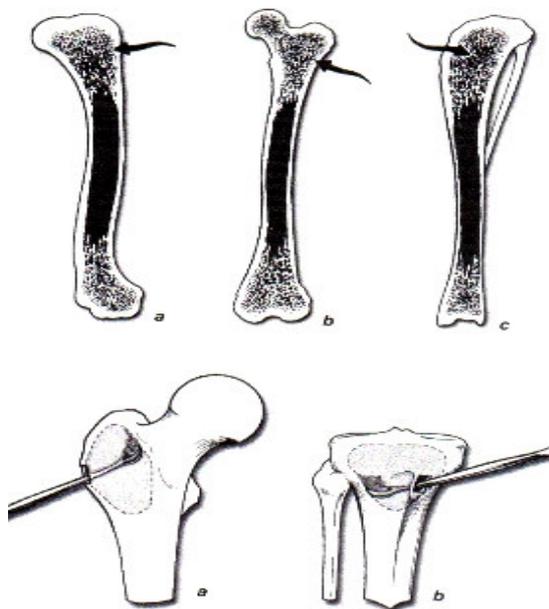
- A.** Ingessatura
- B.** Fissatore esterno
- C.** Chiodo centromidollare più cerchiaggio
- D.** Placca più viti



**Fig 17** Fissatore esterno tipo 1:  
Resistenza insufficiente a sollecitazioni di flessione

## COMBINAZIONE DI FISSAZIONE ED INNESTO OSSEO

Spesso è possibile associare la tecnica di fissazione interna al trapianto osseo (**Fig.18**), soprattutto nei casi di grosse perdite di sostanza o pseudoartrosi infette.



**Fig. 18** Siti di elezione per la raccolta di osso spugnoso autogeno

L'innesto osseo autologo può rappresentare il metodo migliore per favorire il processo di riparazione di una frattura.( *Marvin L. Olmstead; 1995*).

I trapianti di osso spugnoso sono quelli più efficaci, in quanto l'osso spugnoso possiede capacità di osteoconduzione, osteoinduzione

(architettura porosa, tridimensionale che favorisce la riabilitazione in tessuto osseo da parte del tessuto fibrovascolare) e fornisce cellule osteogenetiche; l'osso spongioso, inoltre, contiene dei fattori di crescita che stimolano la divisione e la differenziazione degli elementi mesenchimali in cellule osteoblastiche (**Fig.19-20**).

Utilizzando l'innesto si apportano osteoblasti periostali.

Dopo aver effettuato l'impianto, l'innesto viene invaso dai tessuti circostanti e poi rimodellato da sollecitazioni meccaniche locali.

Nel caso di ampie perdite di sostanza ossea, si preferisce, invece, l'utilizzo di innesti corticali, per dare un maggiore sostegno strutturale.

In questo tipo di innesto il processo riparativo è simile, ma sostanzialmente più lento, rispetto a quello di spongiosa per la mancanza di porosità e per la densità stessa della corticale ossea.

L'attecchimento dell'innesto corticale è preceduto da un periodo di riassorbimento che lo rende più poroso.

L'innesto corticale, però, perde rapidamente le caratteristiche strutturali, col progredire dell'integrazione (*Meister k et al.; 1990 - James, H. Beaty; 2002*).

Gli svantaggi principali degli innesti autologhi di corticale sono: la disponibilità limitata, la morbilità del sito donatore, la minore qualità meccanica dell'innesto.

## **INNESTI OSSEI OMOLOGHI**

L'osso omologo, (congelato, crioessiccato, demineralizzato) trova un ampio impiego nelle ricostruzioni scheletriche, soprattutto nelle grandi perdite di sostanza ossea.

Gli innesti omologhi stimolano, tuttavia, una reazione immune intensa che interferisce con l'integrazione dell'innesto.

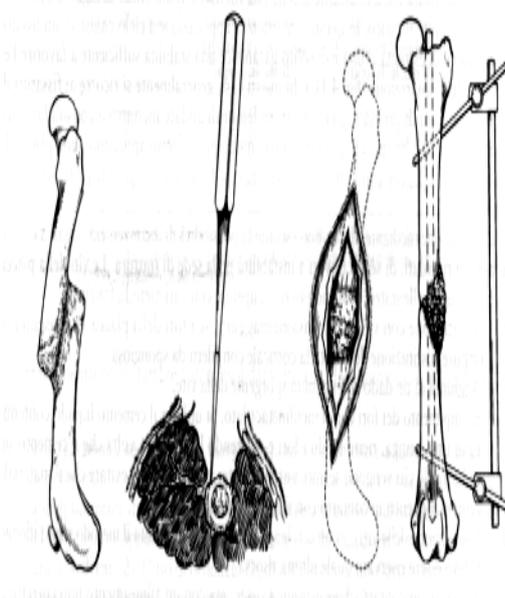
L'integrazione dell'omoinnesto è perciò più lenta rispetto a quella del materiale autologo.

Gli omoinnesti hanno anche una minore capacità di integrazione rispetto a quelli autologhi, per le minori capacità osteogeniche e osteoinduttive.

Un problema preoccupante in umana è la possibile trasmissione di malattie; l'omoinnesto osseo è particolarmente rischioso per la possibile infezione da retrovirus .



**Fig. 19 Siti di prelievo di spongiosa**



**Fig 20 Gli strati del callo periostale modificato sono stati sollevati dalla corticale come uno strato singolo.  
La sede di frattura è stata circondata con un innesto di osso spongioso.**

## **SOSTITUTI SINTETICI DELL'INNESTO OSSEO**

I sostituti sintetici dell'osso sono costituiti da una matrice osteoconduttiva, cui vengono aggiunte delle proteine osteoinduttive e/o cellule osteoprogenitrici.

Le sostanze osteoconduttive più usate sono le ceramiche con fosfato di calcio, disponibili in forma granulare, oppure impianti densi porosi (le idrossiapatiti coralline) o non porosi.

L'uso di questi sostituti, ha evidenziato, un tasso di infezione inferiore e un minore tempo chirurgico per l'impianto.

La matrice ossea demineralizzata (MOD) preparata per estrazione acida da un omotrapianto osseo, ha proprietà osteoconduttive e osteoinduttive ed è stata proposta come prodotto commerciale.

I risultati degli studi clinici sull'uso della MOD, sono stati eccellenti.

La matrice ossea demineralizzata (MOD) fino ad oggi, rappresenta la sola fonte di materiale osteoinduttivo, oltre all'osso autologo. (*Stevenson S. et al.; 1997*).

(*Sudhir Babhulkar e al.; 2005*), riportano i risultati di uno studio retrospettivo sui vari trattamenti chirurgici di pseudoartrosi diafisarie, in 113 pazienti umani in un periodo di 15 anni:

- 36 casi di tibia
- 23 casi di femore
- 21casi di omero
- 13 casi di radio
- 18 casi di ulna
- 2 casi di clavicola

**IL FOLLOW-UP** minimo di è stato di 24 mesi.

Le pseudoartrosi sono state classificate in:

- asettiche (84)
- settiche (29)
- ipertrofiche (61)
- atrofiche (52)

Il trattamento si è basato:

- 1) sul ripristino della stabilità del focolaio mediante fissazione scheletrica
- 2)eventuale impiego di un trapianto osseo
- 3)controllo dell'infezione

I principali problemi inerenti il trattamento delle pseudoartrosi sono stati:

- la presenza di infezione
- la scarsa copertura da parte dei tessuti molli di alcuni segmenti ossei
- la perdita di sostanza ossea

Il protocollo di trattamento delle forme asettiche è stato:

- Sostituzione dell'impianto
- Osteotomia sul sito di pseudoartrosi
- Trapianto osseo

- Fissazione con una placca e viti.

Le forme ipertrofiche sono prevalente conseguenza di una immobilizzazione inadeguata per cui è stata effettuata semplicemente una fissazione esterna stabile.

Le forme atrofiche riflettono una scarsa o inadeguata vascolarizzazione degli apici dei monconi per cui si è provveduto a resecare l'osso non vitale, il tessuto infiammatorio, fibroso o sinoviale ed a riempire il difetto con un innesto osseo.

Nelle pseudoartrosi settiche e con ampie perdite di sostanza, si è preferito ricorrere all'uso di un fissatore esterno circolare di Ilizarov.

L'incremento dell'attività vascolare e osteogenica del focolaio creato da una lenta distrazione e compressione è stato sufficiente ad eliminare l'infezione.

Ilizarov afferma: bruciare l'infezione nella fiamma del rigenerato. (*Aronson J; 1994*).

I risultati sono stati eccellenti nei pazienti trattati con la metodica di Ilizarov, con una percentuale di guarigione superiore rispetto alle altre tecniche di fissazione.

I vantaggi più importanti sono stati: il recupero della funzionalità dell'arto senza dolore o instabilità.

Risultati così soddisfacenti, nel trattamento delle pseudoartrosi con la tecnica di Ilizarov, si sono ottenuti anche negli animali ma è ovvio che la differenza con l'uomo è notevole, sia per il diverso comportamento ma soprattutto in relazione alla non facile gestione postoperatoria.

## CAPITOLO 8

### TECNICHE DI TRATTAMENTO ALTERNATIVE A QUELLE CHIRURGICHE

#### *STIMOLAZIONE ELETTRICA E MAGNETICA*

Esperienze cliniche hanno dimostrato che la stimolazione elettrica dell'osso è efficace per ottenere la guarigione delle pseudoartrosi, anche se, nel trattamento delle forme atrofiche, si sono riscontrati scarsi risultati (*Bhandari M J; 2002*).

E' risaputo che l'osteogenesi è favorita dal mantenimento di una elettronegatività, per cui nuova crescita ossea avviene in vicinanza dell'elettrodo negativo(catodo) e l'osteolisi si realizza a livello dell'elettrodo positivo(anodo).

L'anodo viene posizionato nei tessuti molli e nella cute distante dall'osso (*Marvin L. Olmstead ;1995*).

La piezoelettricità del tessuto osseo manifesta una caratteristica particolare: in presenza di una frattura, la distribuzione dei potenziali elettrici normalmente presenti (biopotenziali) subisce una profonda modificazione, che determina l'attivazione dei processi riparativi ossei.

Studi classici condotti negli anni '50 e '60 da **Fukada (1957)** e **Bassett (1962)**, hanno dimostrato, che esiste uno stretto rapporto fra i potenziali elettrici del tessuto osseo e la sua attività di formazione.

Alla luce delle affermazioni precedenti, è stato possibile sviluppare delle apparecchiature capaci di applicare al tessuto osseo delle correnti elettriche analoghe a quelle naturali, allo scopo di promuovere la guarigione ossea.

L'osso genera due tipi di segnale elettrico: uno in risposta alla deformazione meccanica (I), e l'altro a riposo in assenza di deformazione (II).

TIPO I: il segnale indotto dalla deformazione strutturale conseguente all'applicazione di un carico è presente in un osso non necessariamente vitale e può avere una doppia origine; esso può essere ascritto:

- all'effetto piezoelettrico diretto (legato alle proprietà elettriche del collagene e della componente cristallina minerale)

- al fenomeno elettrocinetico del potenziale di flusso (legato al movimento dei fluidi che permeano un materiale poroso come l'osso).

TIPO II: l'osso vitale in assenza di sollecitazione meccanica genera un segnale elettrico rilevabile, in vivo come potenziale bioelettrico stazionario di superficie (è una attività spontanea del tessuto osseo, dipendente dalla sua vitalità, ma non è stato definito il tipo cellulare che lo genera) ed ex vivo come corrente elettrica (ionica) stazionaria (è una attività elettrica che si osserva quando si produce una lesione al tessuto osseo, es. una frattura, sostenuta dalla attività cellulare).

In virtù degli studi condotti sul rapporto tra correnti elettriche e tessuto osseo, sono state sviluppate 3 metodiche di stimolazione elettrica e magnetica della osteogenesi:

a) Correnti elettriche tipicamente continue e direttamente applicate al tessuto osseo mediante elettrodi impiantati (**SISTEMI FARADICI**); la loro intensità è in genere compresa tra 2 e 20 milliAmperes.

b) Correnti elettriche alternate indotte dall'esterno mediante campi elettromagnetici pulsanti (**CEMP**) nel tessuto osseo (**SISTEMI INDUTTIVI**); i valori di campo magnetico utilizzati variano da pochi micro-Tesla a decine di milli-Tesla.

c) Correnti elettriche alternate indotte dall'esterno mediante campi elettrici puri (**SISTEMI CAPACITIVI**); si ottengono applicando agli elettrodi tensioni fra 1 e 10 Volt.

Mentre i sistemi faradici richiedono un intervento chirurgico per posizionare gli elettrodi che rilasciano corrente nella sede di frattura, i sistemi induttivi e capacitivi sono assolutamente non cruenti.

Non appare sempre utile intervenire chirurgicamente su una lesione che è stabile da un punto di vista meccanico, ma che presenta un deficit nella risposta osteogenetica per cui possiamo ricorrere alla elettromagnetoterapia.

La stimolazione elettrica e magnetica è stata approvata, già da circa venti anni per uso clinico, dalla **Food and Drug Administration**, rappresenta un affidabile ed importante strumento in grado di ripristinare ed aumentare l'attività osteogenica del tessuto riparativo osseo (*Brighton C. T et al., 1995 - Bassette t al. ;1962*).

### ***STIMOLAZIONE CON ULTRASUONI (Hadjigryrou M; 1998)***

Le onde a bassa intensità sono molto efficaci nell'accelerare la riparazione delle fratture.

I tempi clinici e radiologici di riparazione appaiono ridotti del 40% con gli ultrasuoni a bassa intensità (*Warden SJ et al. ;2000*).

### ***SHOCK CON ONDATA EXTRACORPOREA AD ALTA ENERGIA (ESW: TERAPIA A ONDE D'URTO)***

Nata sul finire degli anni '80, la terapia ad onde d'urto è una metodica non invasiva, che consiste nell'utilizzo di onde acustiche ad alta energia, impulsi sonori che assumono un picco di pressione e generano una forza meccanica diretta (onde d'urto per l'appunto).

Il trattamento è una alternativa alla chirurgia nella terapia delle pseudoartrosi.

Le onde d'urto extracorporee sono onde emesse da un generatore, che hanno la prerogativa di stimolare la formazione di un callo osseo, soprattutto nelle pseudoartrosi ipertrofiche.

Le onde d'urto sono prodotte in un mezzo acquoso e convogliate su un bersaglio definito, detto fuoco, trasmettendo una quantità di energia dosabile, con effetto terapeutico a precisione millimetrica.

I vantaggi di questa terapia sono stati valutati in un modello canino di pseudoartrosi (consolidamento dopo 12 settimane di trattamento di 4000 onde shock di 14,5Kv).(*Johannes EJ et al; 1994*).

Gli effetti delle azioni delle onde d'urto sulle ossa furono inizialmente studiate da **Sengene e coll.** sulle ossa di coniglio e su due cani beagle.

Preparati istologici dimostrano che l'azione meccanica delle onde determinava una reazione prevalentemente a carico dell'osso spugnoso caratterizzata dalla induzione di micro-fratture delle trabecole ossee e dalla comparsa di microematomi nello spazio intramidollare.

Dopo tre settimane dalla terapia con le onde d'urto si verifica un ispessimento delle corticali ed un incremento del numero delle lamelle trabecolari con un sostanziale aumento dell'attività osteoblastica.

Il vantaggio principale del trattamento è sostanzialmente la non invasività .

Le onde d'urto stimolando i processi riparativi, porta alla guarigione.

Dette onde, inducono, quindi, nella pseudoartrosi dei microtraumi e quindi microematomi, che sono il primo passo verso la ripresa della formazione del callo osseo.

Si cerca quindi di ricreare le condizioni di una frattura recente, con tutto il suo potenziale riparativo: questo è anche il motivo per cui dopo il trattamento con onde d'urto, se non sono già presenti mezzi di sintesi(fissatori interni o esterni), l'arto deve essere immobilizzato per un certo periodo, proprio come si farebbe con una frattura recente.

I fenomeni che conseguono al trattamento con le onde d'urto sono la stabilizzazione della lesione a condizione che, la distanza tra i monconi non deve superare di molto i 5 mm.

Rispetto alla terapia chirurgica, il vero valore aggiunto delle onde d'urto, è la stimolazione del metabolismo osseo.

Dalla bibliografia, emergono risultati estremamente confortanti, sia per i ritardi di consolidazione (**79%**), sia nel trattamento delle pseudoartrosi (**76%**).

A livello molecolare, le onde d'urto, infatti, innescano un meccanismo di produzione di monossido di azoto, stimolo naturale a una serie di effetti biologici fondamentali per la rivascolarizzazione, la rivitalizzazione e la riparazione tissutale: dalla vasodilatazione alla neoangiogenesi.

Per questo le onde d'urto sono particolarmente indicate anche per la cura delle necrosi ossee.

Per questa loro capacità di agire sul microcircolo tissutale, le onde d'urto si sono rivelate un vero toccasana per tutte quelle sindromi dolorose, anche di origine post-traumatica, dell'apparato scheletrico in prossimità delle articolazioni maggiori.

La terapia con onde d'urto è controindicata nelle ossa del giovane nelle zone in cui è presente la cartilagine di coniugazione, nei pazienti affetti da coagulopatia e nella gravidanza.

Gli effetti collaterali sono rappresentati da tumefazioni ed ematomi locali di piccola entità, petecchie emorragiche. Può residuare una lieve dolorabilità che tende a diminuire con l'incremento della calcificazione.

## ***INIEZIONE PERCUTANEA DI OSSO MIDOLLARE AUTOGENO***

Garg e altri ottennero la riparazione di 17 tra 20 pseudotrosi, impiegando questa tecnica (*Garg NK ;1993*).

## ***MOLECOLE OSTEOINDUTTIVE***

Diverse molecole hanno mostrato una capacità osteoinduttiva in studi condotti su animali, se iniettate nel difetto osseo o nel focolaio di frattura.

Queste molecole sono: la sottofamiglia beta del Tumor Growth Factor (TGFbeta), la proteina ossea morfogenetica (BMP) e il fattore di crescita derivato dalle piastrine (PDGF) (*Friedlaender GE; 2001 – E. C. Rodriguez; 2004*).

La Proteina Osteogenica 1 (OP-1) si è mostrata capace di indurre la formazione di osso, anche in presenza di infezioni. (*Chen X. 2002*).

Il TGF beta, sintetizzato dai condrociti e dagli osteoblasti; ha un ruolo fondamentale di direzione della differenziazione tissutale.

La BMP è un potente agente osteoinduttivo (*James H.Beaty, 2002*).

## CAPITOLO 9

### **APPROCCIO CHIRURGICO AI VARI TIPI DI PSEUDOARTOSI**

Un trattamento appropriato deve essere correlato al tipo di pseudoartrosi (**FORME VITALI, FORME NON VITALI**)

Una pseudoartrosi vitale, è capace di reazioni biologiche, quindi guarisce semplicemente se viene stabilizzata; infatti la fibrocartilagine interframmentaria dopo una rigida fissazione mineralizza; sono i condrociti che iniziano il processo di mineralizzazione poi vi sarà la sostituzione della cartilagine mineralizzata con il tessuto osseo primario e poi con quello lamellare.

Dette pseudoartrosi possono essere:

1) **Pseudoartrosi biologicamente attive senza o con minima dislocazione**

Il trattamento di questo tipo di pseudoartrosi si basa su l'eliminazione di tutti i movimenti nel sito di frattura.

In questo caso è solamente necessario effettuare una buona fissazione, preferibilmente utilizzando un fissatore esterno con minimo disturbo dei tessuti circostanti, oppure una placca a compressione dinamica; è inutile e pericoloso eliminare il tessuto fibroso e fibrocartilagineo, in quanto il supporto vascolare in questa pseudoartrosi è sufficiente a garantire la successiva evoluzione cicatriziale. (*Egger E.L. et al.; 1993 - Leah C. Jackson et al.; 2004*).

## **2) Pseudoartrosi biologicamente attive con dislocazione**

Il trattamento si basa sulla riduzione dei capi di frattura e se necessario, è opportuno resecare le estremità dei monconi per renderli congruenti tra loro, poi si provvede a riaprire il canale midollare per favorire la rivascolarizzazione; l'immobilizzazione dei monconi viene effettuata utilizzando un fissatore esterno oppure una placca a compressione.

L'applicazione di innesti ossei è sempre consigliata, nelle non unioni vitali con scarsa presenza di callo, soprattutto nelle forme oligotrofiche.

## **3) Pseudoartrosi biologicamente inattive**

Il trattamento mira a ottenere una riduzione soddisfacente, rimuovendo il tessuto fibroso dal focolaio, una immobilizzazione perfetta (compressione interframmentaria) rimuovendo ove necessario gli impianti allentati ed infine a riattivare il processo di riparazione mediante stimolazione biologica ottenuta mediante le seguenti procedure:

- Decorticando i monconi in vicinanza della linea di discontinuità, allo scopo di indurre emorragie e di attivare le cellule osteogeniche.
- Alesando il canale midollare per stimolare l'attività dell'endostio e la crescita di capillari impedita dal callo che oblitera il canale midollare.

- Fissando i frammenti utilizzando una osteosintesi interna o facendo ricorso al fissatore circolare di Ilizarov. (*Josten C, Kremer M, Muhr G ; 1996 - Johan Lammens; 1998*).

- Se la perdita di sostanza è importante si deve effettuare un trapianto di osso spongioso o cortico-spongioso (*Y. Latte, J-A. Meynard , 1997*).

La tecnica di osteosintesi per distrazione mediante l'impiego del fissatore circolare di Ilizarov è utilizzata con eccellenti risultati in caso di forme infette e non, con difetti segmentali sia nell'uomo che nel cane (*Marvin L Olmstead 1995 -Lamagna F. et al.;1997*).

Nelle forme avascolari lo stimolo osteogenico manca per cui oltre alla stabilità è necessario utilizzare un innesto osseo. (*Dror Paley et al.; 1989*).

**4) Pseudoartrosi settiche:** è necessario un approccio aggressivo per trattare questo tipo di pseudoartrosi in quanto una infezione rappresenta sempre un grosso ostacolo nella vascolarizzazione del focolaio.

Gli obiettivi del trattamento sono:

- risolvere l'infezione
- recuperare l'integrità anatomica e funzionale
- recuperare la lunghezza dell'osso

Il trattamento delle forme infette consiste nella pulizia chirurgica (rimozione del tessuto infetto) nella stabilizzazione del focolaio e nella concomitante terapia locale.

Per favorire la riparazione del difetto è opportuno il controllo dell'infezione per ripristinare l'anatomia dell'osso dove è possibile.

E' necessario somministrare antibiotici (dopo aver effettuato dei tamponi colturali) per via sistemica (6-8 settimane) e locale (grani di metilmetacrilato impregnati di antibiotico (*E.C.Rodriguez Merchan ; 2004*)).

L'approccio terapeutico può includere delle varianti, nel caso di pseudoartrosi infette drenanti o non.

Le forme non drenanti necessitano di:

- Escissione del tessuto necrotico (dopo identificazione mediante il blu di metilene), dei frammenti ossei avascolari e dei sequestri.

- Stabilizzazione con fissatore esterno circolare di Ilizarov (*Josten et coll; 1996 -Vladimir Barbarossa et al. ; 2001*) ed eventuale trapianto osseo.

Le forme drenanti prevedono:

- Completa escissione del tratto drenante e dei tessuti adiacenti la fistola.

- Accurato lavaggio della cavità midollare.

- La ferita può rimanere aperta e quando possibile si deve applicare un drenaggio (*Geoff Sumner-Smith 2002*).

## CAPITOLO 10

### ***TECNICA DELL'OSTEOGENESI PER DISTRAZIONE MEDIANTE L'USO DEL FISSATORE DI ILIZAROV***

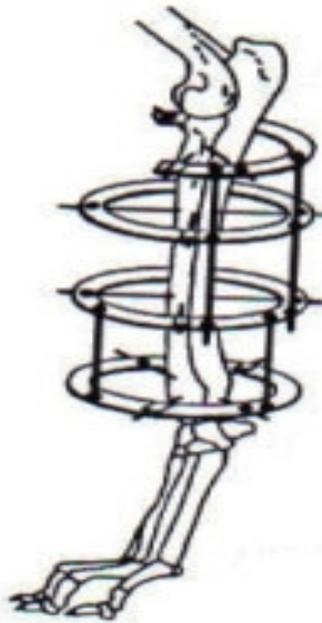
L'Osteogenesi distrattiva rappresenta un valido meccanismo per indurre la formazione di nuovo osso durante la graduale distrazione di due capi di frattura ben stabilizzati (*Delloye C. et al.; 1990*).

Il principio dell'Osteogenesi distrattiva (OD), si basa sulla stessa capacità dell'osso di riparare e rimodellarsi in conformità alle forze meccaniche ed alle tensioni cui esso è sottoposto.

Una caratteristica dell'osteogenesi distrattiva è l'orientamento longitudinale delle strutture tissutali e microvascolari formatesi in seguito alla tensione della distrazione del tessuto interframmentario.

Il primo ad aver utilizzato questo principio è stato il dott. Gavriil A. Ilizarov in Russia, utilizzando un sistema di fissazione esterna ad anelli (FEC) e fili metallici transossei messi in tensione (**Fig.21**).

In Italia nel 1984 il dott. Ferretti utilizzò la versione pediatrica del sistema originale di Ilizarov nella Ortopedia dei piccoli animali (*Ferretti A .et al. ; 1994*).



**Fig.21** Apparecchio di Ilizarov montato all'avambraccio

Con questa metodica si può procedere allo spostamento meccanico di segmenti ossei in tutti i piani dello spazio (allungamento, angolazione, rotazione e traslazione).

Inoltre l'osteogenesi distrattiva si è rilevata utile nel trattamento di complesse problematiche scheletriche (malformazioni congenite con mancanza scheletrica degli arti, deformità, dismetrie post-traumatiche, fratture esposte, osteomielite, pseudoartrosi)-(James H. Beaty;2002).

L'osteogenesi distrattiva come descritta da Ilizarov, è la formazione di nuovo osso secondo la legge dello stress da tensione; questa legge stabilisce che la trazione graduale del tessuto vivente crea stress che

stimolano e mantengono la rigenerazione e la crescita attiva delle strutture tissutali.

Questo processo rigenerativo dipende da alcuni fattori, includenti, la stabilità del fissatore, un approccio chirurgico ipotraumatico ed una giusta velocità di distrazione.

Comunque, il più importante fattore è la conservazione di un adeguato supporto vascolare.

La tecnica originale di Ilizarov, per l'osteogenesi distrattiva richiede una fissazione stabile dopo aver effettuato una corticotomia a bassa energia per preservare la vascolarizzazione midollare.

La corticotomia, a differenza della osteotomia, coinvolge solo la corticale ossea mantenendo la vascolarizzazione midollare integra.

Il periostio, durante la corticotomia, deve essere preservato.

L'osteogenesi distrattiva presenta molte caratteristiche biologiche dell'accrescimento scheletrico e della riparazione delle fratture, con l'inclusione dei meccanismi di formazione ossea endondrale e intramembranosa. (*Welch Rd, Birch JG, Samchukov ML;1998*).

Nella riparazione della frattura, l'osso trabecolare è organizzato casualmente; al contrario, l'osso trabecolare, formato durante l'osteogenesi distrattiva, è orientato secondo una sagoma preformata di collagene (*Ilizarov GA, 1989*).

L'osso trabecolare si può formare ex novo senza il passaggio attraverso la fase cartilaginea.

L'impalcatura di collagene si sviluppa in risposta alla tensione-stress indotta nella distrazione del gap.

In molti animali e nei pazienti umani, nell'osteogenesi per distrazione, la formazione di nuovo osso secondo il modello intramembranoso è predominante.

Dopo una frattura o una osteotomia, si forma un ematoma organizzato e gli osteoblasti incominciano a produrre tessuto osteoide nelle 24 ore.

Con la distrazione, si sviluppa una forza tensile nel focolaio di frattura e si deposita collagene, prodotto dalla proliferazione dei fibroblasti, e che viene organizzato in ordinate fibrille.

La rivascularizzazione a partenza dal periostio e dall'endostio avviene rapidamente.

Dall'osso corticale o da entrambi i versanti del gap, la struttura trabecolare pone in tensione, rapidamente, le trabecole del collagene interfibrillare e forma delle microcolonne.

Questo tessuto trabecolare è visibile radiologicamente dopo 7-14 giorni dall'inizio della distrazione e costituisce il cosiddetto **“rigenerato”**(Fig. 22).

Se la distrazione è continua si forma al centro del gap un'interzona radiotrasparente.

L'interzona divide il rigenerato in due parti e contiene un tessuto più immaturo all'interno del callo (rigenerato).

L'interzone rimane relativamente avascolare durante la distrazione.

Appena la distrazione cessa, l'interzona è rapidamente vascolarizzata e rapidamente mineralizza durante il periodo del consolidamento.

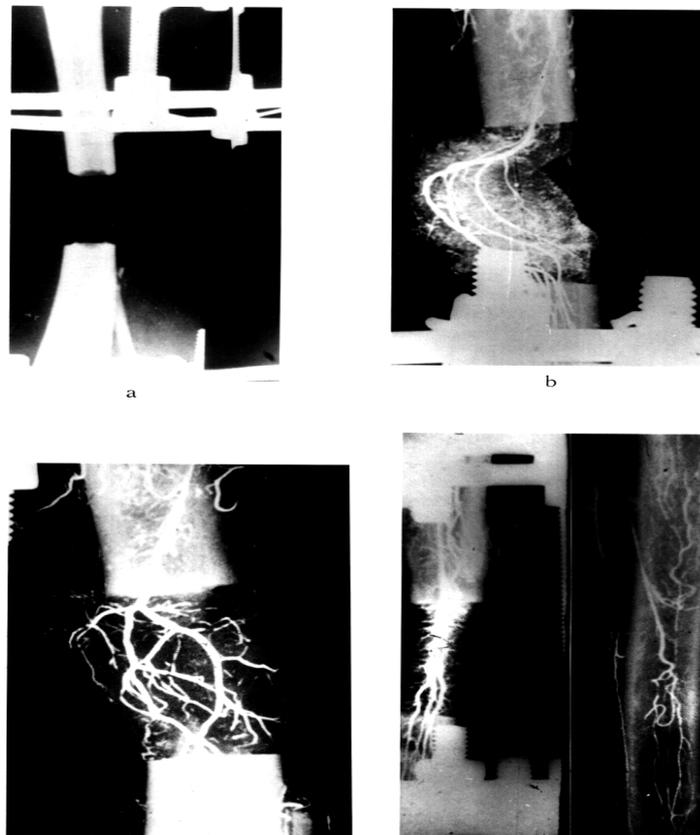
Il rimodellamento haversiano delle corticali e del rigenerato osseo incomincia a circa 2-3 mesi negli animali e a 4-6 mesi nell'uomo.

*(Aronso J, Shen X ;1994 -Frierson M et al.; 1994).*

Gli elementi midollari appaiono nel rigenerato a 4 mesi negli animali.

Il rigenerato si sviluppa senza la tappa intermedia cartilaginea direttamente dal tessuto fibroso.

Il rimodellamento è completo da 5 a 7 mesi negli animali e a 12- 24 mesi nell'uomo. L'integrità meccanica della corticale è ristabilita durante il periodo del rimodellamento.



**Fig.22** Formazione del tessuto osseo nel rigenerato

- a) Rx: del tessuto osseo rigenerato a 21giorni
- b) Rx: del tessuto osseo rigenerato a 35 giorni
- c) Rx: del tessuto osseo rigenerato a 60 giorni
- d) Rx: a 21 giorni quando si sono provocate lesioni midollari durante la compactotomia

## ***FATTORI CLINICI CHE INFLUENZANO L'OSTEOGENESI DISTRATTIVA***

### **1)STABILITA' DELLA STRUTTURA**

Il diametro degli anelli, il numero, le dimensioni, la tensione e l'orientamento dei fili contribuiscono alla stabilità della struttura, fattore indispensabile durante l'immobilizzazione e la distrazione della frattura.

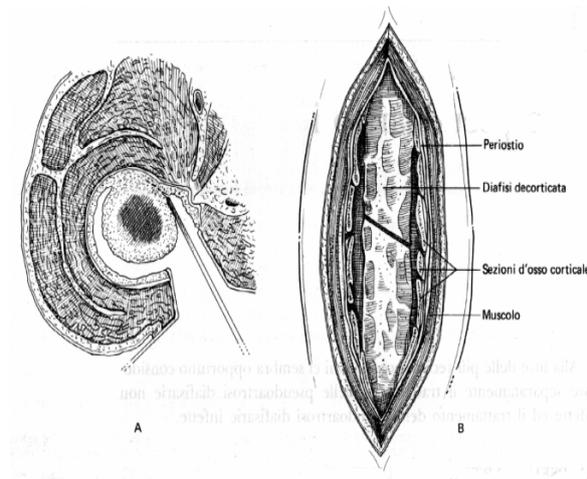
Un singolo anello è posizionato rispettivamente nella parte prossimale e distale dell'osso, mentre due anelli centrali sono allocati su ciascun capo di frattura.

Generalmente si consiglia l'utilizzo di due fili per ciascun anello; la tensione dei fili è di circa 130kg per il paziente umano e da 0 a 90 kg per gli animali.

### **2)CORTICOTOMIA – OSTEOTOMIA**

Ilizarov considera fondamentale preservare la vascolarizzazione periostale e midollare per ottenere buoni risultati durante l'osteogenesi distrattiva.

La corticotomia (**osteotomia subperiostale**) preserva la vascolarizzazione midollare (*Marcellin-Little DJ, Ferretti A, 1997*) (**Fig.23**).



**Fig. 23 Decorticazione**

### **3)TEMPO DI LATENZA**

E' il periodo di tempo seguente l'osteotomia, prima della distrazione. Il periodo di latenza permette l'organizzazione dell'ematoma e la formazione del callo cellulare.

I fattori che influenzano la durata del periodo di latenza sono: l'età del paziente, la localizzazione dell'osteotomia, il danno ai tessuti molli e la tipologia della patologia primaria.

Un periodo di latenza troppo lungo può favorire un consolidamento prematuro, mentre un periodo di latenza troppo corto può determinare l'insorgenza di una pseudoartrosi o la formazione di un insufficiente rigenerato.

Per gli animali maturi si raccomanda un periodo di latenza di 5-7 giorni, e di 2-3 giorni per gli animali giovani.

#### **4)VELOCITA' DI DISTRAZIONE**

L' importanza dell'allungamento eseguito ogni giorno si basa su fattori simili a quelli descritti per la latenza.

La velocità di distrazione va da 0.75 a 2 mm per giorno ed è molto simile a quella indicata per i pazienti umani (*Marcellin-Little DJ; 1998*).

Alcuni fattori, come l'età del paziente, la tecnica di osteotomia e la sede influenzano la velocità scelta (*Ferretti A , Aronson J; 1991*).

Il monitoraggio radiologico ogni 7-10 giorni è suggerito per valutare la formazione di osso rigenerato e stabilire l'adattamento della velocità di distrazione.

La contrattura dei tessuti molli o la sublussazione articolare può essere la conseguenza di una eccessiva velocità di allungamento.

Così, deve essere scelta, un'appropriata velocità di distrazione, per impedire il consolidamento prematuro del rigenerato, nel rispetto dell'integrità dei tessuti molli e delle articolazioni contigue.

## **5)RITMO DI DISTRAZIONE**

Il ritmo di distrazione rappresenta il numero di operazioni in cui viene diviso l'incremento in lunghezza prestabilito nelle 24 ore.

Questo parametro è stato scrupolosamente determinato da Ilizarov allo scopo di influenzare, in maniera ottimale, la qualità e la quantità del "rigenerato osseo" e di preservare al meglio l'integrità dei tessuti molli durante l'allungamento.

Ilizarov osservò, in un modello di allungamento nel cane, che ritmi di 60 tempi per giorno, ottenuti con l'impiego di autodistrattori, producono una notevole formazione di rigenerato osseo in confronto a ritmi da 1 a 4 tempi per giorno. (*Ilizarov GA.; 1989*).

In veterinaria sono raccomandati ritmi di almeno 2-4 tempi per giorno.

## **6)CONSOLIDAMENTO**

Con il succedersi delle settimane, la colonna di rigenerato delle trabecole diventa più omogenea in densità, mentre nuovo osso lamellare rimpiazza l'osso trabecolare.

Appena s'interrompe la distrazione, l'interzona fibrosa comincia a mineralizzare e la regione centrale (zona di mineralizzazione) diventa radiograficamente più opaca.

La formazione di una nuova corticale (corticalizzazione) e del canale midollare richiede approssimativamente 8-12 settimane negli animali.

## **7) ALLUNGAMENTO BIFOCALE**

I tessuti molli sono dei fattori limitanti l'osteogenesi distrattiva (*Paley D.; 1990*).

Clinicamente e sperimentalmente, allungamenti superiori al 20% aumentano le complicanze, soprattutto quelle inerenti al coinvolgimento dei nervi periferici e delle strutture miotendinee.

Con la tecnica dell'allungamento bifocale, si effettuano due osteotomie e perciò due livelli di osteogenesi distrattiva.

Il frammento di osso centrale è stabilizzato nell'anello fissatore e i segmenti adiacenti all'osso sono distratti in direzioni opposte lontano dal frammento intercalare, producendo due siti separati di rigenerato.

## ***FATTORI CHE INFLUENZANO IL TRATTAMENTO DELLE PSEUDOARTROSI***

### **1) VITALITÀ DEGLI APICI DEI MONCONI**

Ilizarov afferma che sotto l'influenza dello stress da distrazione le estremità di un osso sclerotico possono diventare vitali.

**Gyulnanazarova** e **Nadirshina** studiarono sperimentalmente le variazioni dell'osteogenesi nel trattamento delle pseudoartrosi lasse.

Questi autori divisero le pseudoartrosi lasse in due differenti tipi a seconda dell'aspetto radiologico iniziale delle estremità dei monconi.

Il primo tipo è la pseudoartrosi con osteopenia marcata degli apici.

Il secondo tipo è la pseudoartrosi con apici sclerotici per 1-2 cm.

Questo studio concluse che il trattamento mediante osteosintesi per compressione e distrazione in molte condizioni è determinato dalla condizione iniziale degli apici.

Se gli apici sono osteopenici, dopo aver effettuato una resezione della pseudoartrosi lassa e una iniziale compressione graduale, per 2 settimane, l'osteogenesi è simile a quella che avviene in un osso normale.

Se gli apici sono sclerotici, allora, il processo di riparazione osteogenica è danneggiato.

Sebbene la distrazione modifichi piuttosto in fretta l'aspetto degli apici dell'osso, essi rimangono sclerotici.

## 2)FORMA DEGLI APICI DEI MONCONI

Per realizzare una adeguata area di contatto osseo ed incrementare la stabilità, la forma degli apici è da considerarsi fondamentale.

Ci sono 5 forme principali:

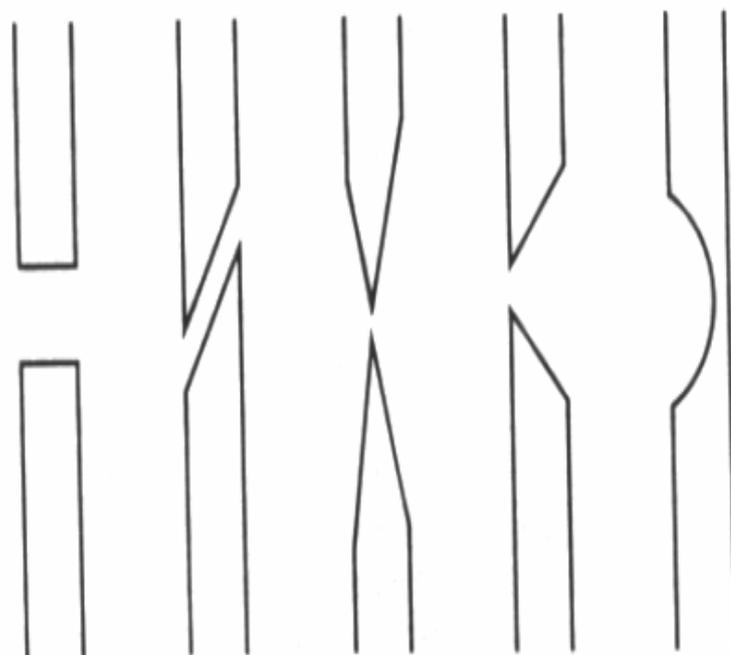
-**Cilindrica**: forma eccellente sia per il contatto che per la stabilità

-**Romboidale**: la stabilità e il contatto osseo devono essere aumentati mediante una compressione margine contro margine.

-**Simile a matita**: in cui per ottenere il contatto ci deve essere una sovrapposizione almeno di 5 cm per favorire una compressione margine contro margine oppure è necessario resecare l'apice fino alla porzione sana.

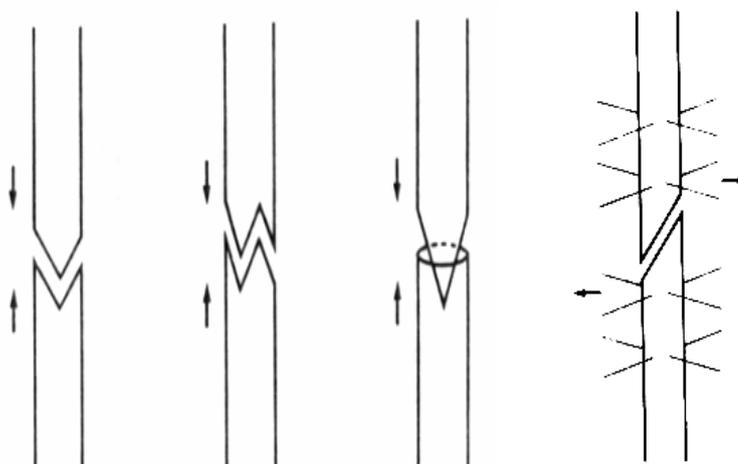
-**Trapezoidale**: per migliorare la stabilità e la compressione è necessario sempre resecare per ottenere una forma appropriata.

-**Marginale**: anche in questo caso è necessario resecare la parte sottile dell'osso oppure trasportare il frammento osteotomizzato nel difetto (Fig. 24).



**Fig. 24** Le cinque forme degli apici

Un buon contatto osseo è importante per realizzare il consolidamento della lesione (**Fig.25**).



**Fig.25** Rappresentazioni schematiche del contatto osseo

Ilizarov afferma che la perdita di stabilità, dell'allineamento assiale, gioca un ruolo importante nella genesi della pseudoartrosi..

La stabilità è offerta, in maniera ottimale, dall'utilizzo del fissatore esterno circolante di Ilizarov.

La fissazione stabile permette la normalizzazione della funzione.

L'allineamento assiale è ristabilito utilizzando differenti combinazioni dell'apparato: i fili con olive, e anelli aggiuntivi o semianelli vengono di volta in volta utilizzati per ottenere un allineamento ottimale.

### **3)INTENSITA' DELL'INFEZIONE**

La corticotomia ed il processo rigenerativo prodotto con la distrazione è di sorprendente beneficio per la eradicazione dell'infezione.

### **4)PERDITE DI SOSTANZA DELLA CUTE E DEI TESSUTI MOLLI**

La condizione dei tessuti molli e della cute è un fattore importante nella scelta del trattamento delle non unioni.

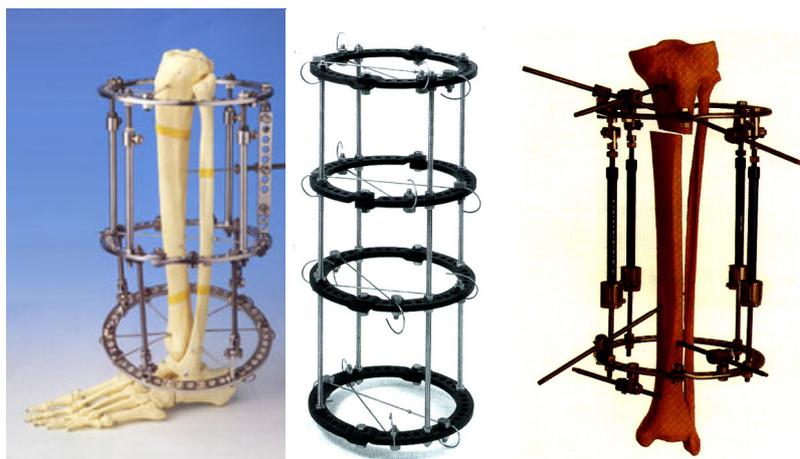
Una fissazione stabile influenza positivamente anche la riparazione dei tessuti molli. Questo è stato osservato nelle fratture esposte, nelle fratture e nelle pseudoartrosi infette (*Vladimir Schwartsman et al.; 1990*).

## CAPITOLO 11

### ***IMPIEGO DEL FISSATORE ESTERNO CIRCOLARE NEL TRATTAMENTO DELLE PSEUDOARTROSI***

L'uso del fissatore esterno circolare in Chirurgia Veterinaria è diventato negli ultimi anni, sempre più frequente soprattutto per la correzione delle deformità angolari e delle ipometrie (*Tommasini and Betts 1991; Marcellin –Little and others 1998; Stallings and others 1998*).

L'impatto dell'impiego del metodo di Ilizarov in Ortopedia umana è reso evidente dalla formazione dell'Associazione per lo Studio e l'Applicazione del Metodo di Ilizarov (**ASAMI**) in Italia (**LECCO**) nel 1982, in Nord America nel 1991 e dell'**ASAMI INTERNATIONAL** nel 1997 (**Fig.26**).



**Fig. 26** Applicazione del fissatore di Ilizarov a una tibia umana

Ultimamente una revisione critica, relativa al trattamento delle fratture, ha indotto molti ortopedici ad utilizzare metodi di stabilizzazione delle fratture sempre meno invasivi e che rispettino sempre più la biologia dell'osso.

La fissazione esterna rispetto alla osteosintesi interna, consente un carico precoce ed un più rapido recupero funzionale.

Il fissatore esterno consente un'ottima stabilità del focolaio di frattura, ma questa stabilità si basa sulla sufficienza meccanica delle barre dei morsetti dei chiodi o dei fili e sulla efficienza del sistema esterno di fissazione nel suo complessivo.

Questo comporta la necessità di un sistema rigido con validi elementi di presa sull'osso.

E' ben noto che, la rigidità comporta lunghi tempi di consolidamento ed, inoltre, elementi molto ingombranti possono risultare poco convenienti soprattutto se in prossimità di un'articolazione.

Tra i fissatori esterni, l'apparato di compressione–distrazione ideato da Ilizarov è sicuramente quello più vantaggioso.

Questo apparato permette una fissazione solido-elastica del focolaio di frattura, agendo sui frammenti per ottenere una riduzione degli stessi o effettuare una compressione e distrazione.

L'apparato di Ilizarov consente una osteosintesi indiretta dinamica che determina una guarigione, del focolaio di frattura, mediante una cicatrizzazione con la formazione di un callo periostale evidente all'esame radiologico.

## ***INDICAZIONI ALL'UTILIZZO DEL FISSATORE DI ILIZAROV:***

- Approccio non invasivo al trattamento delle pseudoartrosi (*Lamagna F.et al.; 1994*).
- Epifisiolisi distrattiva
- Trasporto osseo per rigenerare perdite di sostanza
- Deformità angolari dell'arto
- Tecniche chirurgiche percutanee
- Allungamento di un arto o distrazione di un'articolazione adiacente

## ***TECNICA DEL TRASPORTO OSSEO*** (BT: bone transportation)

I difetti dello scheletro risultanti da un trauma, un'infezione, una resezione per escissione neoplastica, rappresentano degli ostacoli significativi per gli ortopedici veterinari.

Ben sappiamo che gli allotrapianti e gli autotrapianti sono un efficiente mezzo tradizionale per la gestione dei difetti segmentali, ma essi potrebbero determinare delle serie complicanze.

Il trasporto osseo è una innovazione che deriva sia dall'osteogenesi distrattiva che dall'osteogenesi di trasformazione (OT).

L'osteogenesi di trasformazione non è altro che la trasformazione o meglio la conversione da una pseudoartrosi fibrosa o fibrosinoviale in solido ponte osseo.

Mediante la tecnica del trasporto osseo, il segmento osseo da trasportare è ottenuto a mezzo di osteotomia dal moncone osseo meglio vascolarizzato e distratto con i fili metallici o le fiches dal moncone adiacente, mentre il difetto che si determina viene riempito da nuovo osso **"rigenerato"**.

Il moncone distratto rigenera osso con il meccanismo dell'osteogenesi per distrazione e si fonde al segmento di destinazione mediante l'osteogenesi di trasformazione.

Il metodo del trasporto osseo di Ilizarov rimane il più importante per la chirurgia ricostruttiva nel paziente umano.

Ci sono circostanze in cui sussistono grossi limiti di disponibilità di sostanza ossea e l'osso disponibile è insufficiente per il trasporto del frammento intercalare: in questo caso può risultare utile l'uso di autotrapianti freschi corticali, allotrapianti corticali sterilizzati con ossido di etilene, idrossiapatite corallina, cemento di idrossiapatite.

L'autotrapianto corticale fresco, dopo un periodo di latenza di 7 giorni, produce la tipica osteogenesi in grado di favorire la distrazione su entrambe le superfici ossee ed il trasporto del frammento.

Utilizzando un periodo di latenza di 7 giorni con altri materiali, si produce un rigenerato osseo ipotrofico per ciascuna superficie ossea.

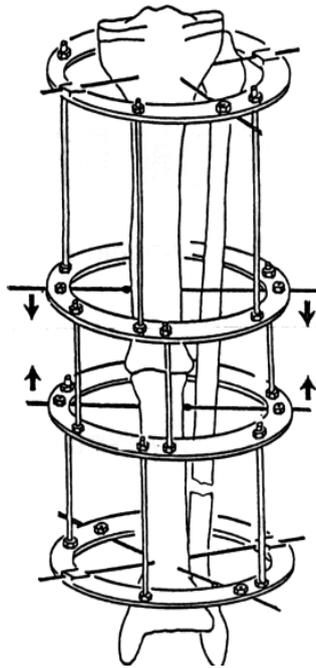
Quando viene utilizzato un lungo periodo di latenza (14-21 giorni), l'allotrapianto e i sintetici mostrano la formazione del tipico rigenerato osseo.

Questi risultati mostrano che in assenza o in presenza di periostio, gli allotrapianti e i sintetici possono essere validamente utilizzati nell'allungamento osseo purchè il periodo di latenza sia prolungato(maggiore di 14 giorni)- (*R. Welch et al. 1999*).

### ***STRUTTURA DEL FISSATORE DI ILIZAROV***

Il fissatore esterno circolare di Ilizarov consiste di due parti: una parte esterna all'osso e una intrinseca; la prima è costituita da cerchi o da archi di cerchi, uniti tra loro da barre filettate mediante un dado e un contro dado; la seconda parte è costituita da fili di kirschner incrociati tra loro e perpendicolari all'asse dello scheletro.

L'apparato di Ilizarov è formato da una serie di anelli metallici, a sezione rettangolare, uniti rigidamente tra loro da barre filettate; ad ogni anello è solidarizzata una coppia di fili di Kirschner transossei da 1.5,1.8 mm di diametro, incrociati tra loro per dare elasticità all'impianto e messi in trazione per aumentare la resistenza dei fili; il fissaggio, quindi, è distribuito su quattro corticali (*Denis J. Marcellin Little;1999*) (Fig 27).



**Fig. 27** Struttura del fissatore di Ilizarov

### ***VANTAGGI DELLA TECNICA DI ILIZAROV***

Il fissatore esterno circolare di Ilizarov ha la peculiarità di non danneggiare il circolo ematico.

Questo fissatore non crea by-pass esterno al focolaio di frattura ma convoglia tutte le forze di pressione nell'interno dell'osso favorendo la formazione naturale del callo.

Il fissatore esterno di Ilizarov si oppone a tutti gli spostamenti in senso sagittale, frontale, rotatorio.

La metodica di Ilizarov è abbastanza semplice rispetto ad altre tecniche di fissazione interna come l'utilizzo di placche o l'osteosintesi centromidollare.

L'invasività è minima, con rispetto della vascolarizzazione peri ed endostale.

La stabilizzazione della frattura è buona grazie ai fili che, incrociati a coppie nell'osso e solidarizzati sotto tensione agli anelli, impediscono movimenti secondari ai capi di frattura.

La biocompatibilità dei fili sottili è ottima, quindi sono molto ridotte le lesioni ossee e cutanee conseguenti all'infissione del filo.

Questo tipo di fissatore permette un carico immediato postoperatorio e il rapido ripristino delle condizioni circolatorie per cui riduce la formazione di edemi, l'ipotrofia e l'ipotonia muscolare (*A. De Gresti -G.F Penna e al., 1986*).

### ***SVANTAGGI E COMPLICANZE DEL FISSATORE DI ILIZAROV***

Il montaggio non è sicuramente veloce, ma più lungo rispetto ad altri tipi di fissatori esterni, quindi lo svantaggio è fondamentalmente imputabile ad un allungamento dei tempi anestesiolgici.

I fissatori esterni circolari, pur consentendo dei montaggi molto rigidi e una eccellente stabilità del focolaio di frattura, risultano meno maneggevoli rispetto ai fissatori esterni classici.

Possibili complicanze vascolo-nervose intraoperatorie, dolore durante il carico, rigidità articolare temporanea, infezioni superficiali localizzate(essudazione dai chiodi e infiammazioni), lisi ossea,

osteomielite (*Marcellin-Little DJ 1998*), controlli ambulatoriali e radiologici frequenti.

Nell'uomo il dolore che si riscontra nell'immediato postoperatorio, è paragonabile ad un intervento di osteotomia, ma un certo grado di dolore persiste, comunque, durante tutto il periodo di fissazione.

Dati clinici dimostrano che, l'infiammazione dei punti di infissione si verifica addirittura nel 95% dei pazienti e nel 10% del totale dei fili metallici.

La rigidità articolare e la sublussazione sono sicuramente da considerare le complicanze più gravi di questa tecnica (*James H. Beaty; 2002*).

Le complicanze associate alla osteogenesi distrattiva, inoltre, non sono da sottovalutare:

-La contrattura muscolare(durante la tecnica di distrazione a doppio livello)-(*Eldridge et al. ;1991-Lamagna F. 1997*).

-La sublussazione (associata alla contrattura muscolare)

-I danni ai vasi e nervi(in caso di allungamenti che superano il 30%)

-Il consolidamento prematuro

-Il consolidamento ritardato

E' ovvio che un monitoraggio clinico e radiologico corretto può evitare questi problemi.(*Robert D. Welch et al. ; 1999*).

## CAPITOLO 12

### CASISTICA CLINICA:

#### *ANALISI DEI DATI E PROTOCOLLI TERAPEUTICI*

Negli anni compresi tra il 1998 ed il 2005, sono stati condotti presso la sezione di Chirurgia del Dipartimento di Scienze Cliniche Veterinarie 38 soggetti affetti da diverse forme di pseudoartrosi.

I dati relativi a tale casistica sono stati raccolti in una tabella sinottica (**Tab. 1**), in cui sono stati raccolti e semplificati i dati più significativi per le analisi statistiche in merito.

I confronti con una popolazione di controllo, composta da un campione di 130 casi di fratture osservati in 2 anni presso la clinica del Dipartimento, sono stati utili per alcune valutazioni, anche se non possono essere considerati totalmente attendibili dal punto di vista strettamente epidemiologico per le caratteristiche di arbitrarietà nella composizione della popolazione di controllo estratta dai soggetti conferiti alla clinica e quindi non adeguatamente rappresentativi di una popolazione omogenea.

La maggior parte dei soggetti è stata sottoposta a terapia mediante l'impiego della tecnica di Ilizarov, sono state tuttavia spesso inserite, rispetto alle tecniche descritte in letteratura, delle varianti, dettate dalla esperienza clinica, nell'intento di semplificare la gestione di specifici casi, privilegiando l'obiettivo terapeutico essenziale del consolidamento della frattura e della correzione di eventuali deformità assiali presenti.

Sp	razza	Kg	Sx	età	sede	tipo	om	trattamento frattura	trattamento pseudartrosi	tempo	risultato funzionale	note	complicanze
c	meticcio	5	m	24 m	femore	ipertrofica	no	cerchiaggio + cm	cm+FSE a comp.	70 gg	ottimo		no
c	pitbull	30	m	30 m	radio-ulna	atrofica	no	FSE tipo II	ilizarov	65 gg	buono	procurvato	flogosi
c	meticcio	8	m	12 m	femore	ipertrofica	no	FSE tipo I + cm	ilizarov	60 gg	buono	procurvato	drenaggio
c	meticcio	6	m	60 m	radio-ulna	atrofica	no	bendaggio	ilizarov	60 gg	discreto	pronazione	emorragia
c	meticcio	8	m	96 m	femore	ipertrofica	si	cm	cm+FSE a comp.	70 gg	ottimo		no
c	meticcio	9	m	84 m	femore	leg. ipertrofica	no	cm	cm+FSE a comp.	70 gg	ottimo		no
c	spinone	20	m	48 m	femore	perdita di sostanza	si	cerchiaggio	cm+FSE a comp.	60 gg	ottimo		no
c	pitbull	25	f	36 m	radio-ulna	distrofica	si	FSE tipo 1	ilizarov	90 gg	buono	procurvato	drenaggio
c	barbone n	25	m	84 m	radio-ulna	atrofica	no	bendaggio	ilizarov	70 gg	ottimo		no
c	meticcio	25	m	48 m	radio-ulna	atrofica	si	bendaggio	ilizarov	70 gg	ottimo		no
c	meticcio	25	f	6m	metacarpo	ipertrofica	si	bendaggio	conservativo	65 gg	ottimo		no
c	meticcio	25	m	48 m	radio-ulna	necrotica	si	FSE tipo 1	ilizarov	65 gg	discreto	pronazione	emorragia
c	meticcio	25	m	36 m	radio-ulna	necrotica	si	placca	ilizarov	70 gg	discreto	pronazione	drenaggio
g	europeo	25	f	48 m	radio-ulna	atrofica	no	FSE tipo1	ilizarov	120 gg	discreto	pronazione	drenaggio
c	yorksh.	25	f	18 m	radio-ulna	atrofica	si	bendaggio	ilizarov	90 gg	buono		flogosi
c	setter	25	m	48 m	radio-ulna	distrofica	si	FSE tipo1	ilizarov	65 gg	buono	procurvato	flogosi
c	meticcio	25	m	30 m	radio-ulna	atrofica	no	bendaggio	ilizarov	90 gg	buono	procurvato	flogosi
c	yorksh.	25	f	7m	omero	atrofica	no	placca	ilizarov	80 gg	buono		drenaggio
c	meticcio	25	m	36 m	radio-ulna	necrotica	si	bendaggio	ilizarov	60 gg	buono	procurvato	Drenaggio
Sp	razza	Kg	Sx	età	sede	tipo	om	trattamento	trattamento	tempo	risultato	note	complicanze

								frattura	pseudartrosi		funzionale		
c	meticcio	25	m	12 m	femore	leg. Ipertrofica	si	cerchiaggio+cm	cm+FSE a comp.	65 gg	buono		flogosi-drenaggio
c	barbone n	25	m	48 m	femore	leg. Ipertrofica	no	FSE tipo1	cm+FSE a comp.	45 gg	ottimo		no
c	meticcio	25	m	60 m	radio-ulna	atrofica	si	bendaggio	ilizarov	65 gg	ottimo		no
c	barbone n	25	f	108 m	femore	ipertrofica	no	cerchiaggio+cm	cm+FSE a comp.	75 gg	ottimo		no
c	chihuaua	25	f	18 m	radio-ulna	atrofica	no	cerchiaggio	ilizarov	45 gg	ottimo		no
g	europeo	25	m	36 m	tibia-perone	atrofica	si	FSE tipo2	ilizarov	70 gg	ottimo		drenaggio
c	setter	25	f	36 m	femore	atrofica	no	cm	cm+FSE a comp.	60 gg	ottimo		no
c	barbone n	25	m	84 m	radio-ulna	atrofica	no	cerchiaggio	ilizarov	90 gg	ottimo		no
c	meticcio	25	m	48 m	radio-ulna	atrofica	no	bendaggio	ilizarov	70 gg	ottimo		no
c	meticcio	25	m	60 m	femore	ipertrofica	no	bendaggio	cm+FSE a comp.	60 gg	discreto		drenaggio
c	barbone n	25	m	24 m	femore	leg. Ipertrofica	no	cerchiaggio	cm+FSE a comp.	45 gg	discreto		drenaggio
c	meticcio	25	f	48 m	radio-ulna	atrofica	si	cerchiaggio + benda.	ilizarov	90 gg	insufficiente	arto corto gr.	drenaggio
c	meticcio	25	f	48 m	tibia-perone	atrofica	no	placca	ilizarov	70 gg	discreto	arto corto	drenaggio
c	pincher	25	m	72 m	tibia-perone	atrofica	no	FSE tipo1	ilizarov	60 gg	discreto	arto corto	no
c	meticcio	25	m	48 m	tibia-perone	atrofica	si	FSE tipo1	ilizarov	60 gg	discreto	arto corto	no
c	p. t.	25	m	60 m	radio-ulna	atrofica	si	bendaggio	ilizarov	80 gg	insufficiente	arto corto gr.	sepsi
g	siamese	25	m	69 m	tibia-perone	ipertrofica	no	cerchiaggio	ilizarov	70 gg	ottimo		no
c	yorksh.	25	f	15 m	femore	atrofica	si	cm	ilizarov	90 gg	insufficiente	arto corto gr.	sepsi
c	meticcio	25	m	14 m	radio-ulna	atrofica	no	placca	ilizarov	120 gg	insuccesso	non unione	cedimento

Nella descrizione dei dati analizzeremo le caratteristiche di tale casistica con specifici riferimenti a:

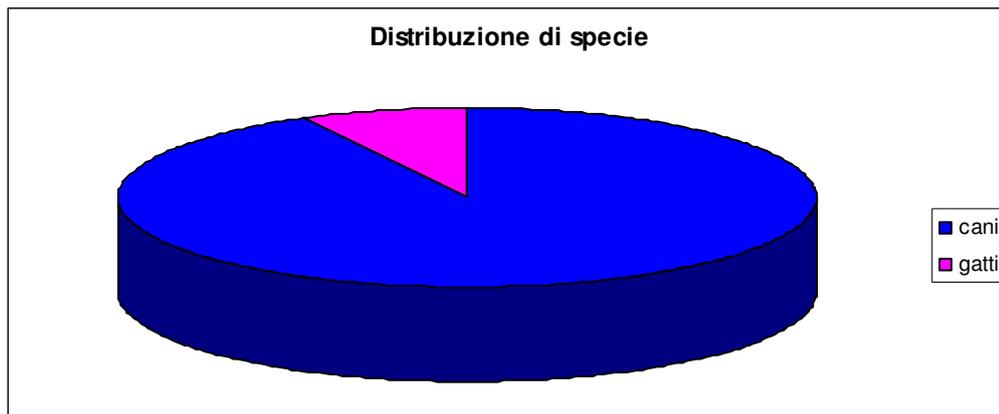
- 1)inquadramento diagnostico (dati segnaletici e caratteristiche delle lesioni)
- 2)protocolli terapeutici (scelta delle tecniche in rapporto alle caratteristiche del caso)
- 3)valutazione dei risultati ottenuti (corrispondenza tra obiettivi terapeutici prefissi e raggiungimento degli stessi)

## **INQUADRAMENTO DIAGNOSTICO**

-Dati segnaletici e caratteristiche delle lesioni

### **Specie**

In pieno accordo con i dati riportati in letteratura, l'incidenza delle pseudoartrosi nel cane si rivela significativamente più alta che nel gatto (92% contro 8% -**Tab. 2**).

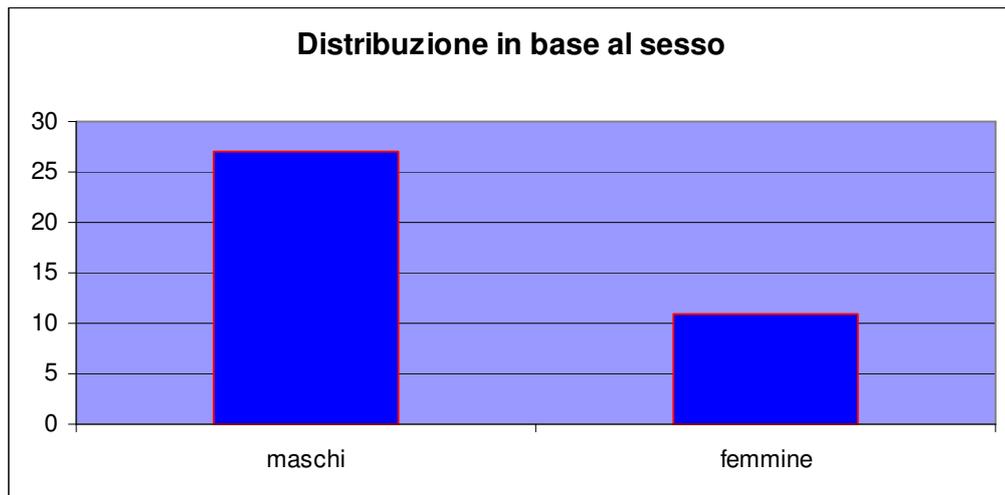


**Tab.2**

Il valore di questo dato si giustifica per fattori diversi, probabilmente correlati alle caratteristiche biologiche e biomeccaniche di specie, peraltro non ben documentate e circostanziate nella letteratura in materia.

### **Sesso**

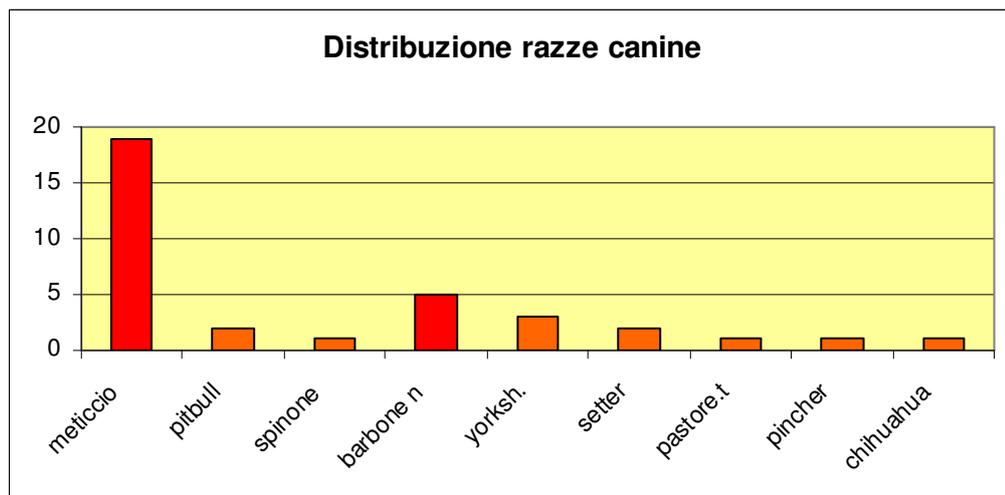
Il dato di maggiore incidenza nei maschi (71%, **Tab. 3**) riflette la distribuzione della popolazione complessivamente presente sul territorio di utenza della clinica che vede una maggiore consistenza di maschi rispetto alle femmine, il dato è poi ulteriormente deviato verso il sesso maschile per la maggiore incidenza legata ai fattori comportamentali legati al sesso che determinano una maggiore incidenza traumatologica nei maschi.



**Tab. 3**

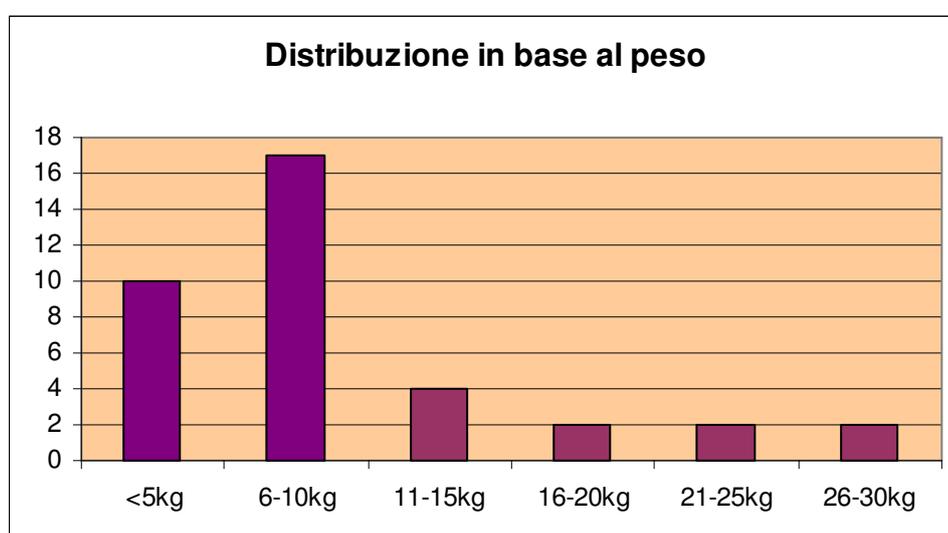
### **Razza e peso**

I dati d'incidenza di razza (**Tab.4**) non si prestano a particolari considerazioni per l'eccessiva frammentazione del campione; molto interessanti sono invece i dati relativi all'incidenza in relazione al peso (**Tab. 5**).



**Tab. 4**

Anche in questo caso si conferma un dato che è consolidato nella letteratura in materia con una netta prevalenza delle pseudoartrosi in soggetti di piccola taglia, infatti 10 soggetti interessati sono compresi nella fascia di peso inferiore a 5 Kg e ben 17 nella fascia tra 5 e 10 Kg (valore complessivo 71%), gli altri 11 casi sono distribuiti, con bassi numeri, nelle altre fasce di peso.



**Tab. 5**

I motivi di tale predisposizione sono molteplici e non tutti sufficientemente chiariti; la nostra opinione è che nel cane di piccola taglia sussista un maggior rischio di danno vascolare indotto dal trauma causale della frattura e che il trauma chirurgico possa, con maggiore probabilità, aggravarlo ulteriormente.

Inoltre il rapporto tra estensione del focolaio traumatico e dimensione totale del segmento scheletrico coinvolto è

significativamente deviato verso il primo, con un danno che risulta proporzionalmente più esteso, cui consegue una riduzione della capacità reattiva locale.

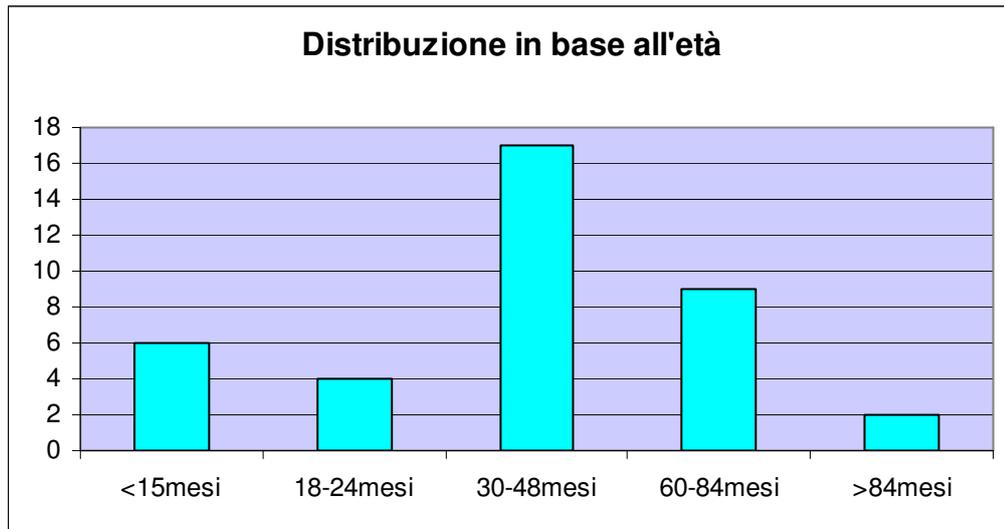
La piccola dimensione interferisce anche con l'efficacia dei mezzi di sintesi la cui dimensione non può essere indefinitamente ridotta nella proporzione, senza diminuire in maniera rischiosa la l'affidabilità meccanica degli stessi.

Un altro elemento che deve essere preso in considerazione è collegato all'abilità ed esperienza del chirurgo: l'errore operatorio, anche se di modesta entità, sulla piccola dimensione, è meno tollerato con un aumento del rischio d'incidenza delle complicanze.

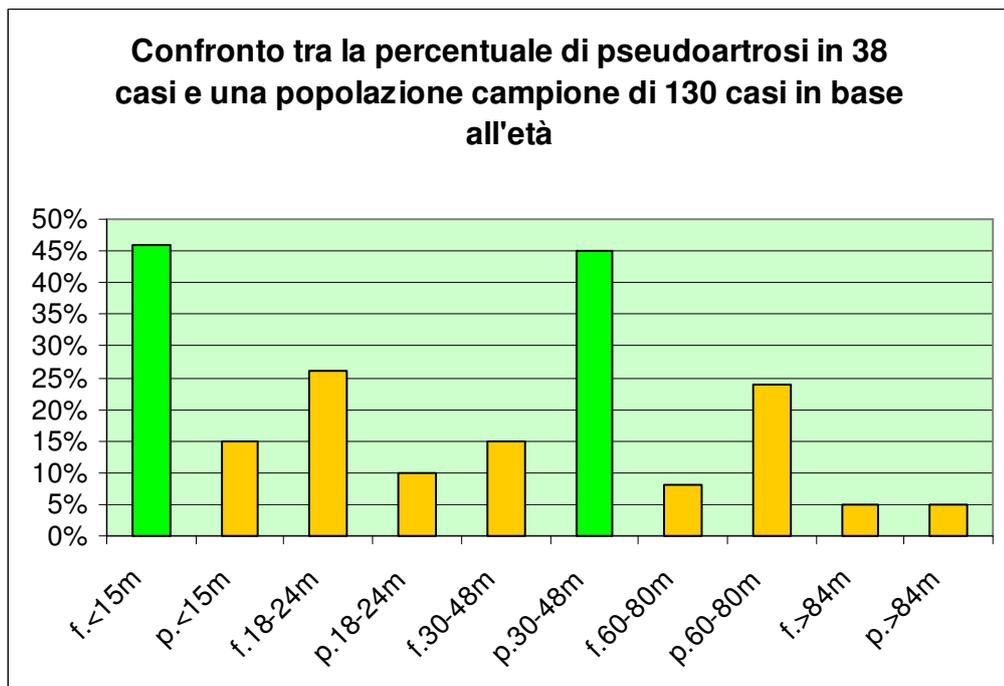
### **Età**

L'incidenza osservata in rapporto all'età (**Tab. 6**) vede una prevalenza di casi nell'età matura ed avanzata (17 nella fascia 30 - 48 mesi e 9 nella fascia 60 - 84 mesi, per un totale del 69%); nei soggetti giovani, a fronte di un'incidenza più elevata delle fratture nella popolazione di controllo, (**Tab. 7**), l'incidenza delle fratture è del 46% nei soggetti di età < 15 mesi), l'insorgenza di pseudoartrosi può considerarsi sostanzialmente rara (15% per soggetti di età < 15 mesi).

Ciò conferma che le capacità osteogenetiche, proprie dell'età giovanile, particolarmente localizzate nello strato cambiale del periostio, protegge dall'insorgenza dei mancati consolidamenti.



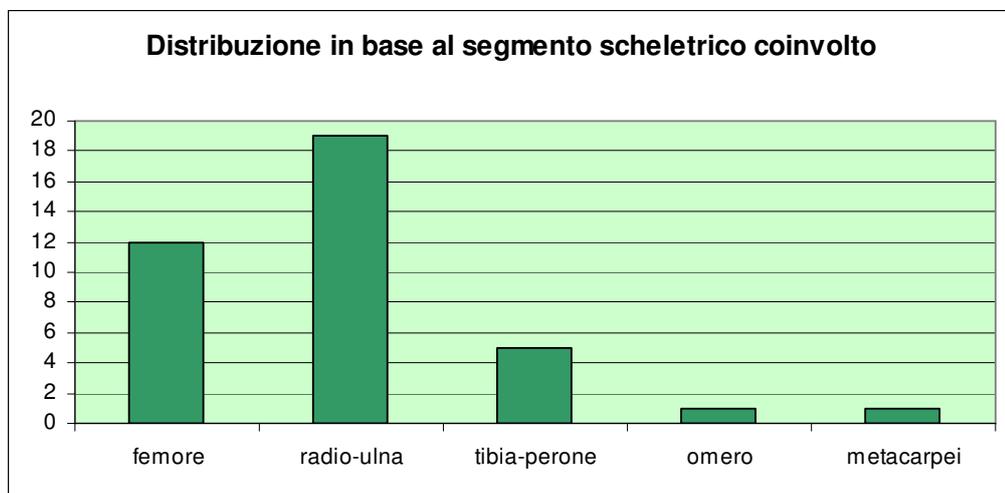
**Tab. 6**



**Tab. 7**

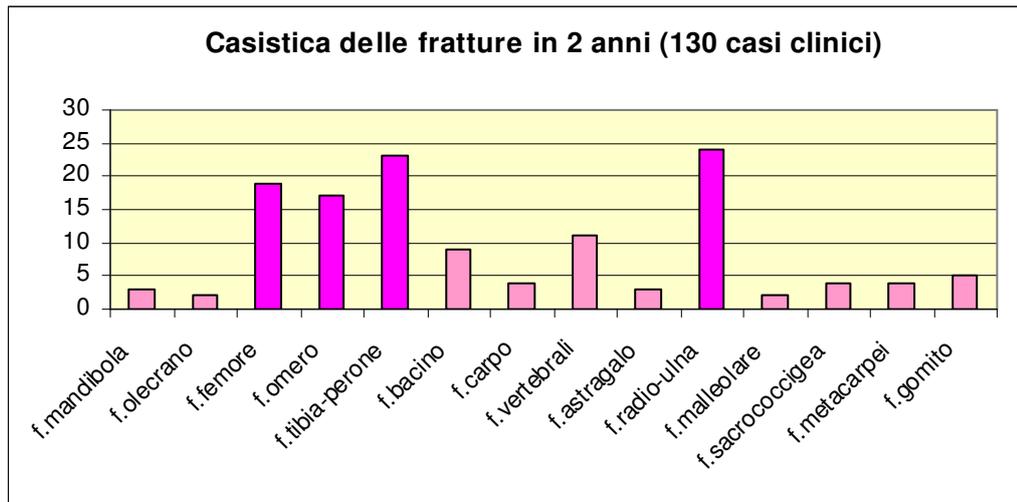
## Sede

Anche per quanto riguarda la frequenza di localizzazione, nella nostra casistica, si confermano dati noti (**Tab. 8**) con una netta prevalenza della localizzazione su radio-ulna (49%) seguita a distanza da quella sul femore (32%), bassa l'incidenza della localizzazione su tibia-perone (13%), è stranamente presente, nella nostra casistica un solo caso di pseudoartrosi dell'omero.

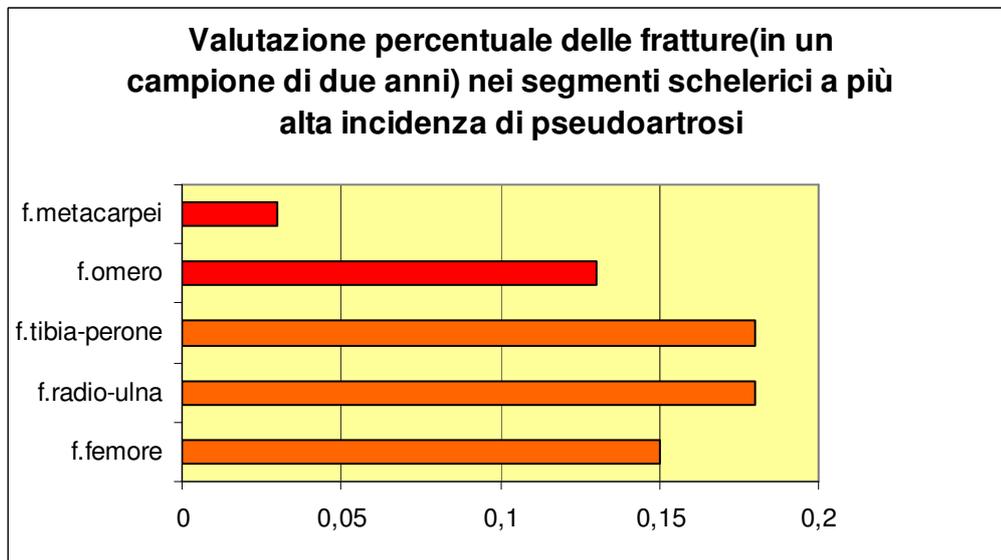


**Tab. 8**

Questi dati diventano ancora più significativi se confrontati con quelli della popolazione di controllo relativi all'incidenza delle fratture (**Tab. 9 A-B**), in cui non si osservano importanti differenze nei valori percentuali tra i quattro distretti principali considerati.



**Tab. 9 A**



**Tab 9 B**

L'elevata incidenza delle pseudoartrosi in sede radio-ulnare rappresenta un dato noto e spesso segnalato, in particolar modo nei soggetti di piccola taglia, dove la condizione vascolare propria del limite tra il terzo medio ed il terzo distale sembra giocare un ruolo determinante.(**Tab. 10**)

L'incidenza della localizzazione femorale si collega al largo impiego, nel nostro territorio di utenza, della tecnica centromidollare, spesso associata a cerchiaggi, che rappresenta una scelta da considerarsi molto pericolosa se non applicata con metodica assai rigorosa.

La bassa incidenza delle pseudoartrosi di tibia potrebbe essere spiegata dalla maggiore semplicità di gestione delle fratture in questa sede, con l'impiego della FSE impiantata a cielo chiuso cui si collega un minore rischio d'infezione ed un ridotto danno vascolare iatrogeno.



**Tab. 10**

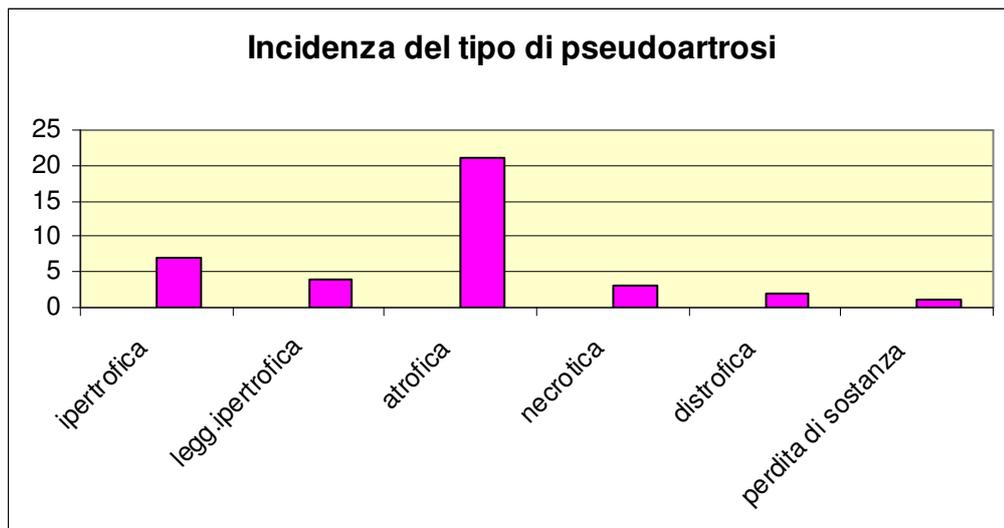
### **Tipo di pseudoartrosi**

I dati relativi alla classificazione tipologica delle pseudoartrosi osservate (**Tab.11**) vedono una maggiore incidenza delle forme atrofiche (55%). Per quanto il dato possa apparire elevato, non

possiamo omettere la considerazione che tale forma possa rappresentare l'esito finale di molte altre condizioni meno gravi.

Il motivo di un numero così elevato di pseudoartrosi atrofiche potrebbe essere ascritto, in prevalenza, al tempo intercorso tra il fallimento del trattamento di osteosintesi ed il momento in cui il paziente è stato conferito alla nostra attenzione con la probabile interposizione di altri tentativi terapeutici ugualmente falliti.

Maggiori considerazioni potranno essere effettuate nella valutazione del rapporto tra il tipo di pseudoartrosi e l'esito del nostro trattamento che vedremo successivamente.



**Tab.11**

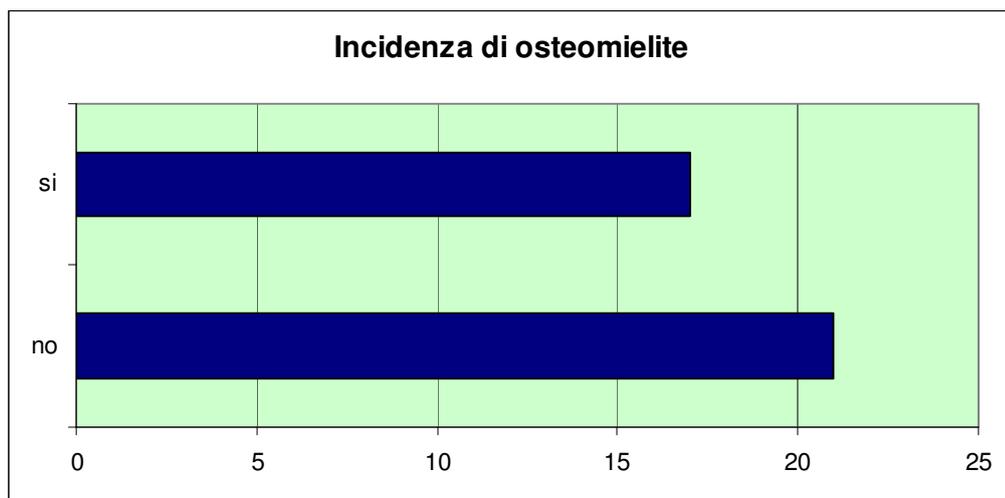
### **Infezione**

L'incidenza dell'osteomielite (**Tab. 12**) nei casi osservati è stata di 17 soggetti (45%), questo dato testimonia il ruolo significativo dell'infezione nell'eziologia delle pseudoartrosi dei carnivori

domestici. Non è stato possibile rilevare con certezza, in tutti i casi osservati, se l'infezione fosse conseguenza della esposizione spontanea della frattura o fosse invece iatrogena.

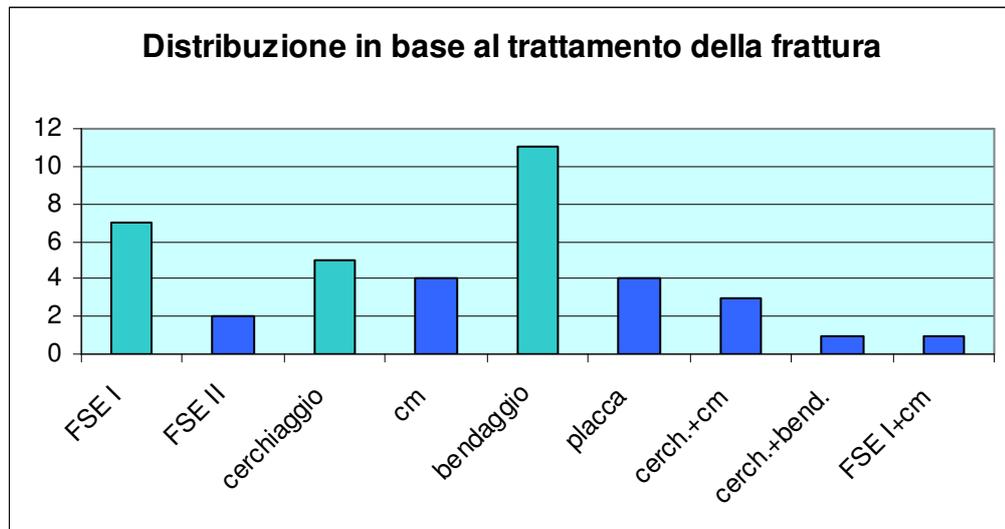
Se presumiamo, relativamente agli interventi di trattamento della frattura che hanno previsto certamente l'esposizione chirurgica, che l'infezione sia stata iatrogena, i casi osservati sono 7 (18,4%) questo significa che almeno il 41 % dei casi di osteomielite osservati sarebbero iatrogeni.

Il dato si presta a commenti diversi e necessita di conferme su numeri più alti e di maggiori approfondimenti specifici.



**Tab. 12**

### Interventi effettuati per il trattamento della frattura (Tab. 13)



**Tab 13**

La maggior parte dei soggetti osservati presentava pseudoartrosi conseguenti a fallimento di interventi di osteosintesi, con casi distribuiti tra le diverse tecniche interne ed esterne. La conseguente dispersione dei dati consiglia prudenza nella loro valutazione.

Possiamo certo dire che il trattamento incruento (bendaggio) è presente nella storia clinica del 29% dei soggetti osservati ed è stato prevalentemente impiegato per il trattamento di fratture di radio ed ulna.

Se consideriamo l'elevato rischio che, indipendentemente dalla scelta del trattamento, la sede radio-ulnare comporta per l'incidenza di pseudoartrosi ed il fatto che il bendaggio mostra una ragionevole efficacia applicativa quasi esclusivamente in questa sede e per questo, con molta probabilità, più largamente impiegato, il dato

avrebbe trovato la sua spiegazione; tuttavia questo non vuol dire necessariamente che il bendaggio rappresenti in assoluto una scelta terapeutica sbagliata nel trattamento di tutte le possibili tipologie di fratture radio-ulnari.

In definitiva la questione andrebbe affrontata sulla base di numeri più consistenti e di dati più precisi relativi alla localizzazione ed alle caratteristiche della frattura nell'ambito del segmento considerato.

Considerazioni analoghe possono essere fatte per gli altri tipi di trattamento dove il numero ancora più basso di casi rende poco significativa qualunque osservazione.

### **Strategie terapeutiche**

Nella parte generale della tesi abbiamo descritto le diverse opzioni terapeutiche riportate in letteratura per il trattamento dei vari tipi di pseudoartrosi.

Fin dai primi anni di diffusione nell'arsenale terapeutico veterinario della tecnica di Ilizarov, la nostra scuola fu particolarmente attratta dalle possibilità applicative di tale metodica nei piccoli animali; allo stesso tempo parve subito necessario semplificarla ed adattarne i principi operativi alle problematiche specifiche del nostro campo di azione.

Nel trattamento delle pseudoartrosi, la tecnica di Ilizarov offre potenzialmente la possibilità di ottenere il consolidamento della frattura, di correggere le deformità assiali eventualmente presenti ed infine di ripristinare, con la tecnica del trasporto osseo, le eventuali perdite di sostanza determinate dalla lesione.

Quest'ultima opportunità è stata sempre considerata in medicina umana di fondamentale importanza soprattutto nelle lesioni dell'arto inferiore, dove ipometrie anche lievi si rendono responsabili di danni funzionali clinicamente significativi.

Nel nostro campo è assai più raro che si configuri una tale esigenza, è infatti noto che i nostri carnivori domestici sono in grado di compensare egregiamente perdite di lunghezza di segmenti dello scheletro appendicolare, anche di alto valore percentuale, attraverso la maggiore apertura degli angoli articolari.

Se poi si considera la giusta opportunità di ridurre i tempi del trattamento, il conseguente disagio per l'animale e per il proprietario, cui si collega un non meno importante risparmio economico, conseguenza della riduzione del numero di controlli clinici e radiologici, appare saggia la scelta di non considerare indispensabile la correzione delle ipometrie nel trattamento delle pseudoartrosi.

Un'altra osservazione di base appare subito opportuna: se consideriamo la maggiore incidenza delle pseudoartrosi a carico dell'avambraccio, questa sede rappresenta, per le caratteristiche anatomiche della regione (sezione grosso modo circolare e

direzione verticale), quella che, nei carnivori domestici, offre le migliori possibilità applicative dello strumentario di Ilizarov.

Sussiste invece il problema delle dimensioni: nei soggetti di piccola taglia, a più elevata incidenza delle patologie pseudoartrosiche, si incontrano problemi operativi di spazio disponibile, per uno strumentario che, per forza di cose, è standardizzato per applicazioni su animali di peso medio.

Se è facile l'adattamento dell'apparato a soggetti di taglia maggiore, aumentando il numero degli elementi costitutivi dell'impianto come anelli e barre filettate, nei soggetti di taglia molto ridotta una adeguata riduzione degli stessi elementi può impedire il conseguimento della configurazione minima di un impianto a compressione con due coppie di anelli, ciascuna per moncone, con conseguente grave rischio di ridotta stabilità e gestibilità dei monconi stessi.

Non si può sottovalutare, inoltre, il rapporto tra il peso dell'impianto ed il peso dell'animale. L'utilizzazione di impianti metallici, di notevole peso in rapporto al peso del soggetto, possono causare impedimento funzionale, inibizione del carico funzionale dell'arto interessato ed aggravamento della malattia da frattura.

Le soluzioni che la nostra scuola ha proposto in risposta a tale problematica sono diverse, a seconda delle necessità terapeutiche imposte dalla tipologia di lesione, con specifico riferimento all'accesso chirurgico diretto al focolaio patologico.

Nelle forme di pseudoartrosi "vitali", in cui è attesa un guarigione a seguito di una opportuna stabilizzazione del focolaio, laddove le

dimensione dell'animale non consentano l'applicazione di una configurazione standard a quattro anelli, si impiegano coppie di bandierine montate sull'anello base del moncone su cui vengono tesi uno o più fili.

Nelle forme "non vitali", in cui si preveda l'esposizione chirurgica, seppur minima, del focolaio, con l'intento di attivare una reazione biologica riparativa (apicectomia) o per rimuovere impianti della precedente osteosintesi fallita (cerchiaggi, placche), si sfrutta l'accesso stesso per impiantare un filo di Kirshner centromidollare, anche sottile, in grado di prevenire lo scivolamento laterale dei monconi durante la compressione interframmentaria e di aumentare notevolmente la stabilità dell'impianto, senza incidere sulla sua dimensione e sul suo peso.

La positiva valutazione dei risultati ottenuti con questa strategia ci ha consentito di risolvere il problema dell'applicazione di impianti sul femore.

In questa sede, le caratteristiche anatomiche della regione (radice dell'arto, profilo conico a sezione ellittica spinta e asimmetrica) non consentono una facile applicazione dello strumentario di Ilizarov; tuttavia, la consapevolezza dell'efficacia terapeutica della compressione continua ha fatto sì che venisse ideato un impianto comprimente assiale laterale, fissato con fiches rigide filettate, localizzate in sede epifisaria prossimale e distale, associato ad un chiodo centromidollare di dimensioni adeguate, in modo da soddisfare tre esigenze specifiche:

- 1) la stabilizzazione antirotazionale;
- 2) la compressione continua del focolaio;
- 3) evitare l'applicazione di fiches centrodiafisarie o metafisarie che, come è noto, impediscono lo scivolamento laterale dei muscoli durante il movimento, con conseguente blocco funzionale del ginocchio.

In sintesi finale, per le condizioni osservate con maggiore frequenza (localizzazione: radio-ulna e tibia-perone), le tecniche adottate nelle varie circostanze sono le seguenti:

- 1) pseudoartrosi vitali asettiche, senza presenza d'impianti interni di precedenti osteosintesi:
  - a. in cani di taglia media e grande:
    - i. impianto standard a 4 anelli in compressione/distrazione senza accesso al focolaio;
  - b. in soggetti di piccola taglia:
    - i. impianto ridotto a 2 anelli con eventuali bandierine e fili olivari in compressione/distrazione assiale o laterale senza accesso al focolaio;

2) pseudoartrosi vitali settiche o con presenza di impianti da precedente osteosintesi:

c. in cani di taglia media e grande:

i. accesso proporzionato al focolaio per la rimozione di impianti e/o sequestri;

ii. impianto standard a 4 anelli in compressione;

d. in soggetti di taglia piccola:

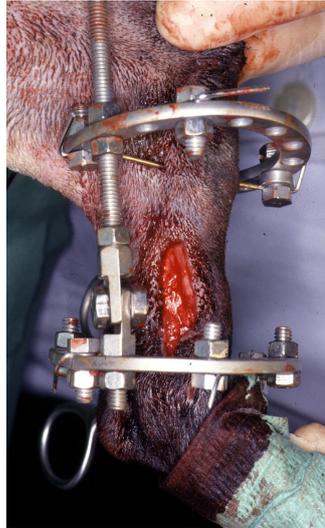
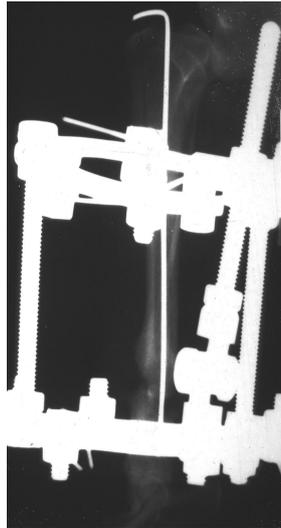
i. accesso proporzionato al focolaio per la rimozione di impianti e/o sequestri;

ii. applicazione di filo centromidollare;

iii. impianto semplificato a 2 anelli in compressione;



**Fig.14 Pseud. vitale di tibia: quadro rx e clinico**



**Controlli postoperatori**

**Controllo dopo 15 gg**

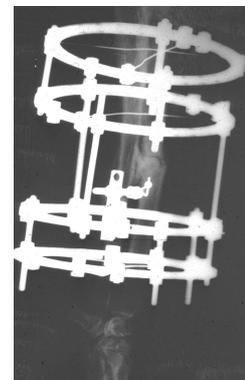
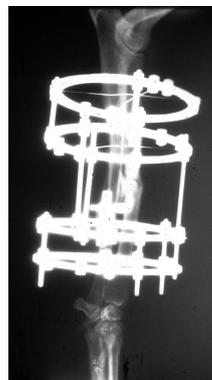
2) pseudoartrosi non vitali:

a. in cani di taglia media e grande:

- i. miniaccesso al focolaio per apicectomia e decorticazione (eventuale rimozione di impianti pregressi);
- ii. impianto standard a 4 anelli in compressione;



**Fig.15 Pseudoartrosi distrofica**



**Controllo postoperatorio a 7 e 15gg**

- b. in soggetti di piccola taglia:
- i.** accesso al focolaio solo in caso di presenza di impianti da rimuovere;
  - ii.** eventuale immissione percutanea di cellule da spongiosa autologa;
  - iii.** impianto ridotto a 2 anelli con bandierine e fili olivari in compressione assiale o laterale senza accesso al focolaio;



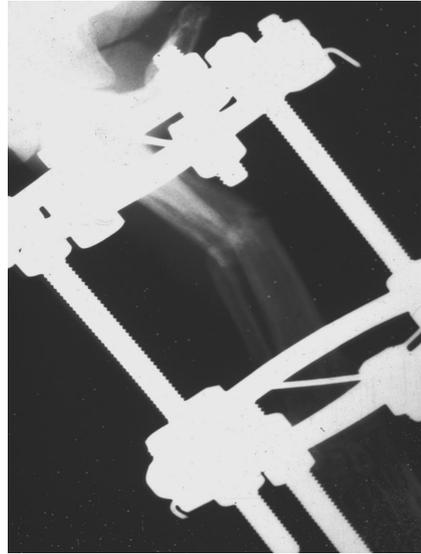
A



B



C



D

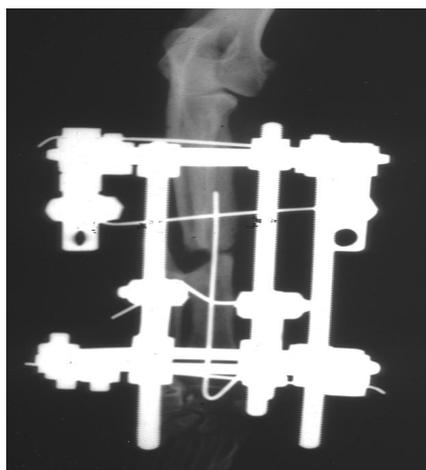
**Fig.16 Pseudoartrosi atrofica di radio -ulna in un meticcio:**



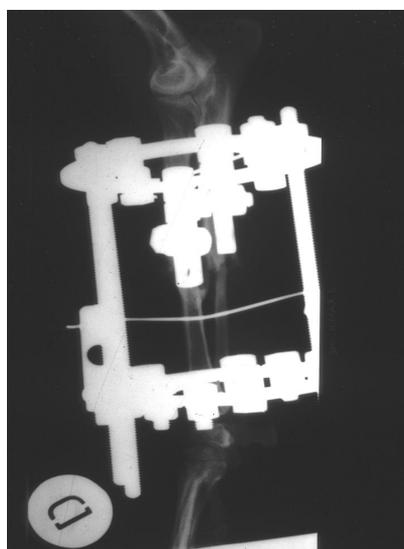
**A:Rx preoperatorio ;B-C-D: Control. rx postoperatori;E: Consol. 70gg**



**Fig.17 Pseud. atrofica di radio e ulna in un barbone n.**



**Controllo postoperatorio**



**Controllo rx**

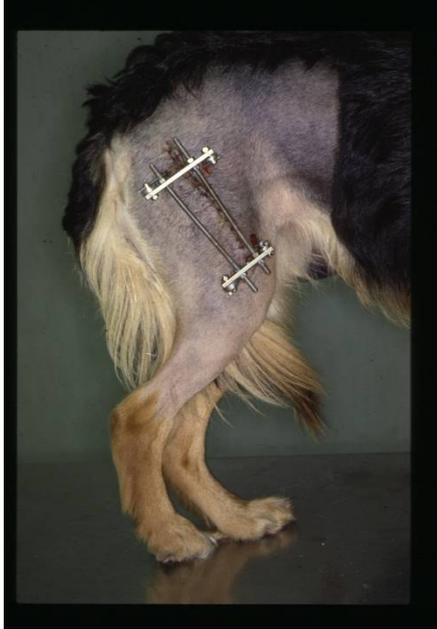


**Controllo clinico a 15gg**

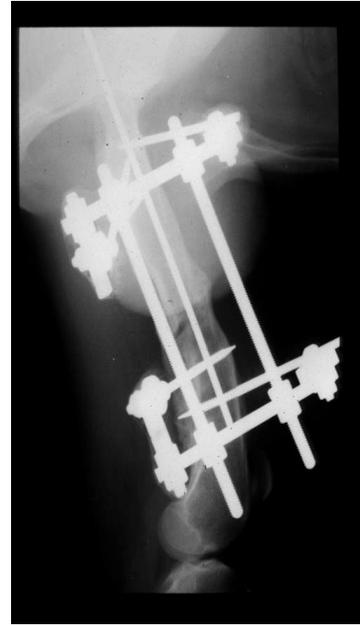
4) pseudoartrosi di femore lasse o libere, quando non si scelgano tecniche di osteosintesi interna:

- iv. accesso al focolaio ed eventuale riduzione della dislocazione, cruentazione dei monconi
- v. rimozione di impianti residui eventualmente presenti
- vi. infissione di chiodo centromidollare,

**vii. impianto assiale esterno in compressione (Lamagna F,  
Potena A.;1996)**

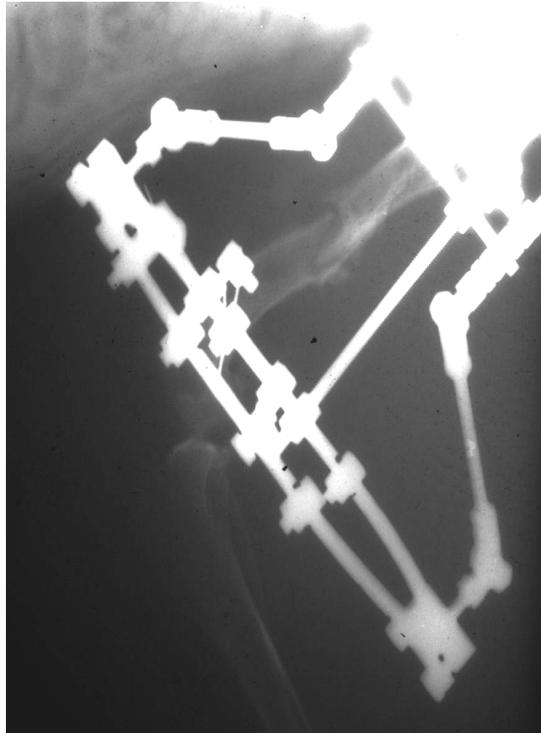


**Fig 18 Controllo clinico a 7gg**

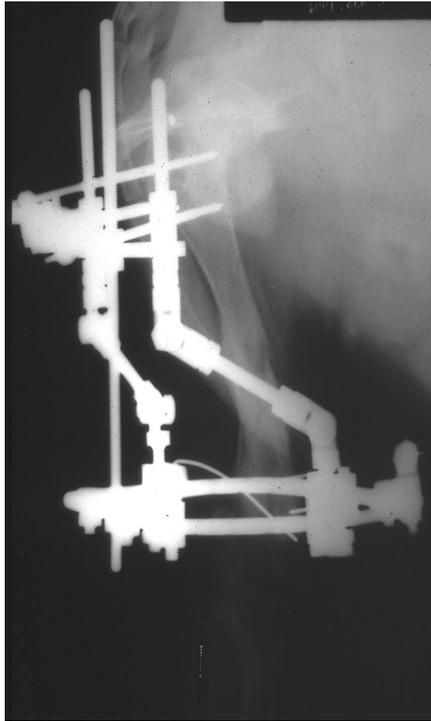


**Controllo rx a 15gg**

- 3) pseudoartrosi di femore serrate (esiti di fallimento di ostedintesi centromidollare):
- a. con chiodo centromidollare presente:
    - i. nessun accesso al focolaio,
    - ii. impianto assiale esterno in compressione
  - b. senza chiodo centromidollare
    - i. applicazione di impianto ibrido (assiale circolare) a cielo coperto in stabilizzazione e compressione. Fig.



**Fig.19 Quadro rx postoperatorio di pseud. atrofica diafisaria**



**Proiezione anteroposteriore**



**Controllo dopo 7gg**

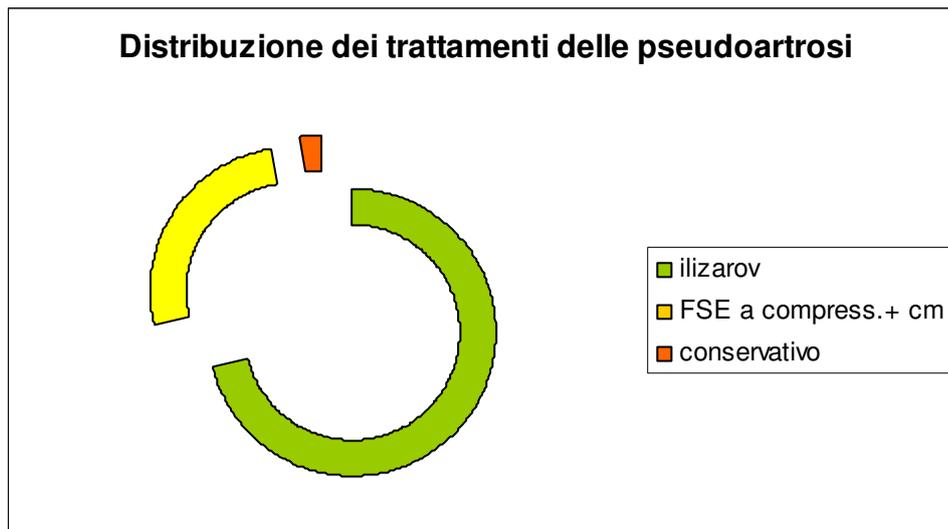


**Controllo a 90gg**

Lo schema riportato rappresenta la linea guida su cui si basa l'approccio terapeutico che abbiamo impiegato nella nostra casistica e che ha subito piccole modifiche di adattamento alle caratteristiche specifiche dei singoli casi, i risultati ottenuti che andremo adesso a valutare sono molto soddisfacenti ed in linea con gli obiettivi prefissi che hanno privilegiato semplicità, economia e maggiore garanzia di risultato.

Nella nostra casistica (**Tab.20**) il 71% dei casi (27) è stato trattato con la tecnica di Ilizarov nelle varie possibili configurazioni descritte, il 26% (10 casi) è stato sottoposto alla tecnica di inchiodamento centromidollare associato a compressore assiale esterno ed erano tutte lesioni localizzate al femore.

Un solo caso particolare di pseudoartrosi ipertrofica dei metacarpei è stato trattato in maniera incruenta con bendaggio rigido in materiale sintetico.



**Tab. 20**

## **Valutazione dei risultati**

### **Consolidamento della lesione(Tab. 21)**

In 37 casi su 38 si è ottenuto il consolidamento delle pseudoartrosi, anche se in altri 3 casi al consolidamento non ha fatto seguito un uso, seppur parziale, dell'arto, per cui dobbiamo considerare il successo come ottenuto su 34 casi su 38 (89%).

Tale risultato può essere considerato entusiasmante anche e soprattutto in considerazione del dato che, tra le lesioni trattate, ben 21 (55%) erano pseudoartrosi atrofiche, notoriamente collegate ad una valutazione prognostica particolarmente riservata.

L'elevato numero di successi ottenuti è, a nostro giudizio, non solo collegato alle qualità intrinseche della tecnica e dello strumentario, ma anche alla scelta di protocolli semplificati che, pur sacrificando

alcuni potenziali obiettivi (lunghezza del segmento scheletrico), riduce l'insorgenza di complicanze gravi e quindi di insuccessi.

Il numero limitato di insuccessi ci consente delle valutazioni individuali.

Il caso numero 37, in cui non si è ottenuto il consolidamento rappresentava una sfida assolutamente drammatica, in cui era presente una larga serie di fattori negativi:

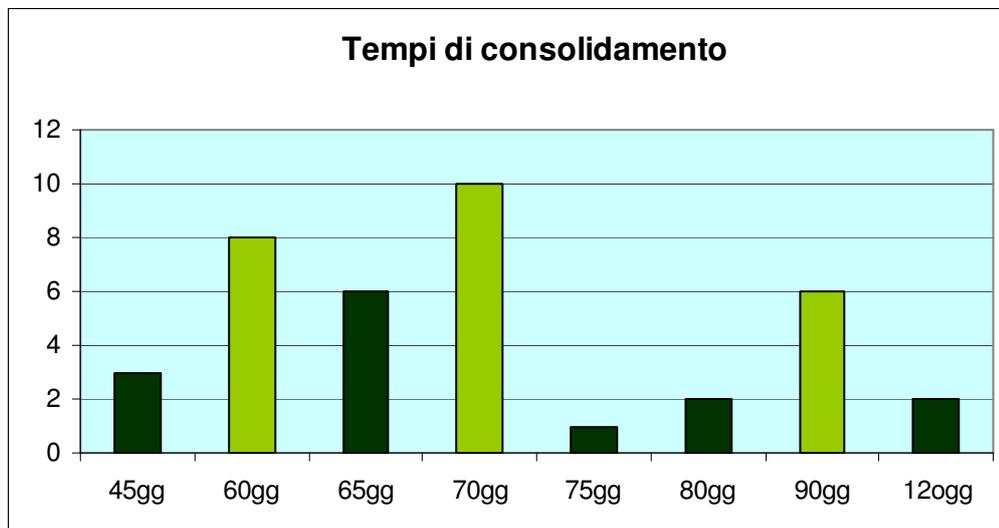
- 1) tempo intercorso dal trauma iniziale 3 anni;
- 2) atrofia ossea da mancato uso gravissima ed estesa a tutto l'arto;
- 3) presenza di placca instabile con relative viti sul tessuto osseo residuo, cosa che ha richiesto un'ampia esposizione del focolaio per la sua rimozione con ulteriore danno vascolare;
- 4) obesità in un soggetto di taglia medio-piccola 12 Kg.

L'impianto ha lavorato in un tessuto il cui livello di mineralizzazione era estremamente basso, per come appariva all'esame radiologico e per come poco resisteva all'infissione dei fili durante l'intervento.

Dopo 120 giorni, nel corso dei quali è stata modificata più volte la localizzazione dei fili stessi per aumentarne la tenuta, l'impianto ha perso definitivamente stabilità decretando il fallimento del nostro tentativo.

Negli altri 3 casi era presente un'infezione importante che ha reso necessarie ampie resezioni tessutali, tempi di trattamento molto lunghi ed impossibilità di applicare la tecnica del trasporto osseo,

ciò è esitato in arti troppo corti che i soggetti non hanno praticamente potuto utilizzare.



**Tab.21**

### **Durata dei trattamenti.**

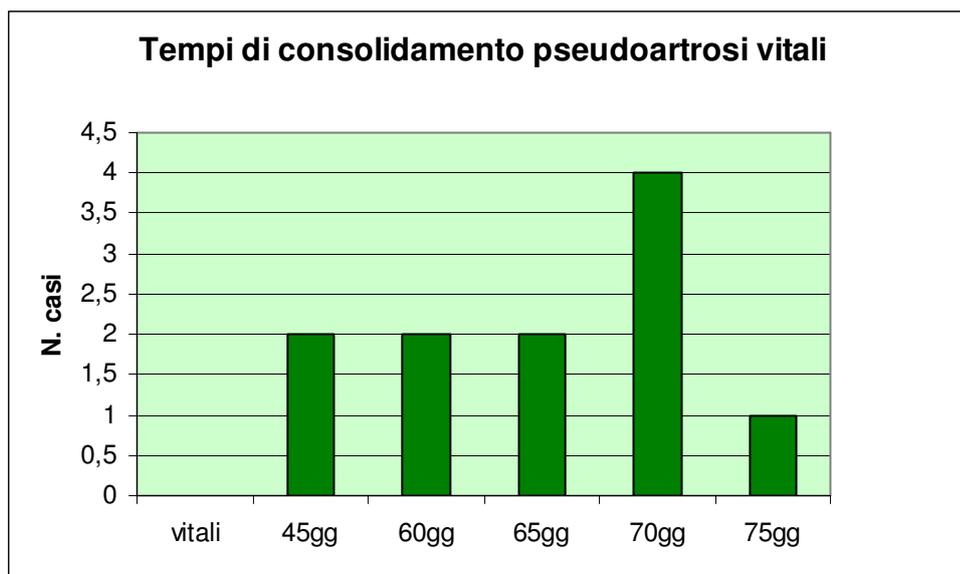
Il tempo di trattamento è stato compreso tra un minimo di 45 giorni per le forma meno gravi ad un massimo di 75 giorni per le pseudoartrosi di tipo vitale e 120 giorni per il tipo non vitale.

Durante il trattamento venivano praticati controlli clinici settimanali e radiologici ogni 2 o 3 settimane.

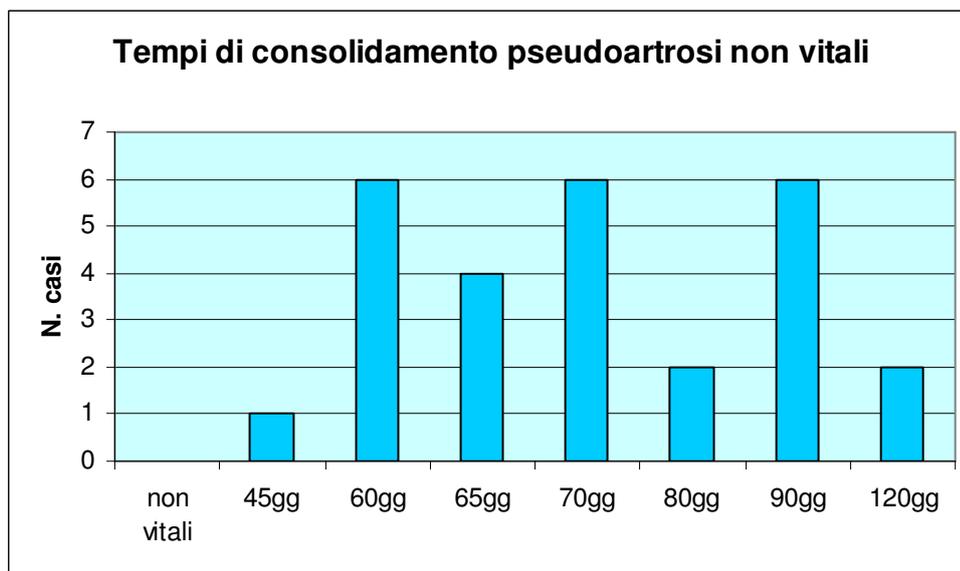
In tale occasione veniva rinnovata la compressione e, se necessario, operate piccole modifiche all'impianto ed eventuali sostituzione di fili resisi inefficaci.

Il tempo medio in cui sono guarite le forme di pseudoartrosi vitali è stato di 63 giorni con una moda di 70 giorni (**Tab.22 A**).

Il tempo medio di guarigione delle forme non vitali è stato ovviamente più lungo attestandosi su 75 giorni, con una curva compresa tra 60 e 90 giorni (**Tab.22 B**).



**Tab. 22 A**



**Tab.22 B**

Tali tempi, se considerati in rapporto alla gravità delle lesioni, non possono essere considerati particolarmente lunghi.

Se poi si considera che, rispetto ad altre tecniche, quelle utilizzate hanno consentito agevoli piccole correzioni in corso d'opera e, attraverso la sostituzione di fili, di mantenere nel tempo un'ottima stabilità dell'impianto, si conferma, quindi, la validità di una strategia di trattamento che può prevedere tempi di cura molto lunghi.

Nella maggior parte dei casi i soggetti hanno impiegato precocemente l'arto trattato ed hanno tollerato bene l'impianto durante tutto il decorso della cura.

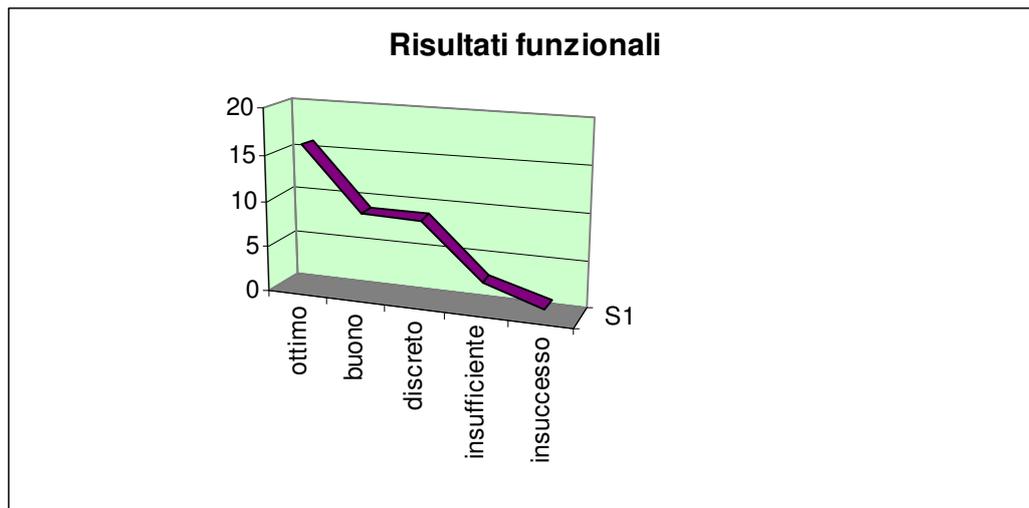
### **Risultato funzionale**

Come abbiamo accennato precedentemente, abbiamo considerato positivo il risultato in 34 soggetti.

Il risultato funzionale è stato ottimo (assenza di claudicazione) in ben 15 soggetti, buono (claudicazione in circostanze particolari) in 9, discreto (claudicazione modesta ma costante) in 9.

Si ribadisce il concetto che, se proporzioniamo il risultato alla gravità delle lesioni iniziali, aver ottenuto risultati funzionali positivi in una casistica con così alta percentuale di pseudoartrosi non vitali, la valutazione positiva incrementa ulteriormente.

Rilievi sui risultati estetici e funzionali non valutati come ottimali  
**(Tab.23)**



**Tab. 23**

La causa prevalente di valutazione non ottimale è stata la deformità residua in senso procurvato (concavità caudale), 6 casi, osservata prevalentemente nelle lesioni di radio-ulna, seguita dalla deformità in pronazione o rotazione esterna, 4 casi, anche essa osservata esclusivamente sull'avambraccio. **(Tab.24)**.

Tali deformità residue sono ascrivibili in parte alle caratteristiche iniziali dei quadri clinici ed in parte (procurvato) ad una tendenza intrinseca della tecnica di compressione che tende ad imprimere al focolaio, negli impianti semplificati con filo guida una deviazione ad axim.

L'altra causa di valutazione negativa è stata l'eccessiva perdita di lunghezza del segmento scheletrico trattato, ma su questo problema abbiamo già fatto le nostre valutazioni.



**Tab 24**

### **Complicanze (Tab. 25)**

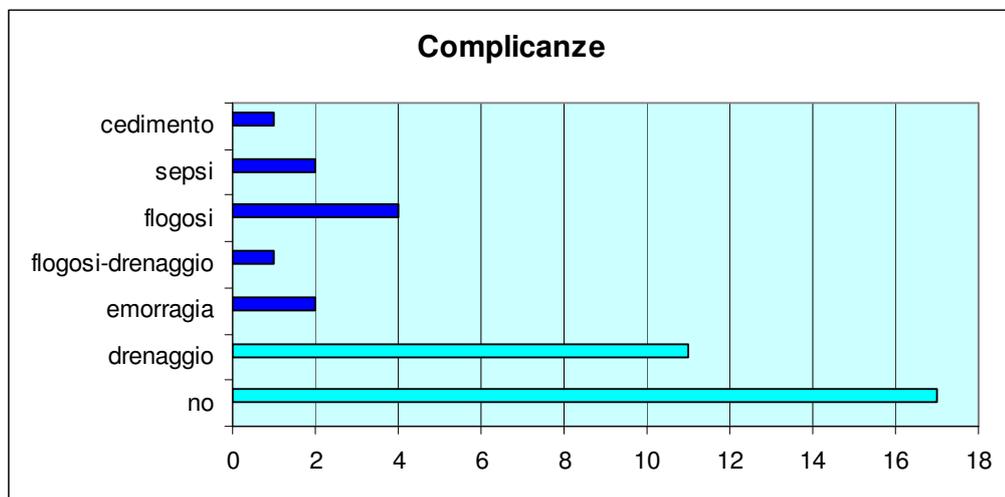
In 17 casi non abbiamo osservato complicanze di rilievo; degli altri casi soltanto 5 hanno lamentato complicanze da considerarsi maggiori:

- a. 1 cedimento totale dell'impianto (causa di fallimento del trattamento)
- b. 2 infezioni maggiori, di cui una preesistente e poi causa di grave perdita di sostanza non compensata
- c. 2 emorragie rilevanti, collegate alla vicinanza di fili transossei a fasci vascolari importanti, che però non hanno impedito di raggiungere un discreto risultato finale.

Nelle altre complicanze, considerate minori, hanno prevalso per incidenza il drenaggio dei fili prossimali (12 casi, 31%), che rappresenta in assoluto la complicanza più comunemente osservata

nell'impiego della fissazione scheletrica esterna e la flogosi dei tessuti molli (5 casi, 13%), di solito determinata da aventi traumatici o dal lambimento.

Non è riportata in tabella una complicanza che è possibile osservare quando sono trattate a cielo aperto lesioni caratterizzate da notevole sovrapposizione dei monconi, in cui è necessario ricorrere ad una distrazione brusca dei monconi con conseguente contrattura del comparto muscolare flessorio del carpo.



**Tab.25**

In questi casi l'animale tende a sottrarre l'arto al carico, aggravando la condizione muscolare, è allora opportuno, così come si opera nelle tecniche di allungamento, applicare dei tutori che forzino leggermente l'estensione dl carpo fino a favorire il carico dell'arto. Quando si è raggiunto l'obiettivo dell'appoggio i tutori possono essere rimossi.

## **Conclusioni**

L'applicazione estensiva, della tecnica di FSE in compressione e dello strumentario di Ilizarov, per il trattamento del mancato consolidamento delle fratture ci ha consentito di ottenere gli eccellenti risultati che abbiamo descritto in una larghissima percentuale di casi anche indipendentemente dalle caratteristiche di gravità delle lesioni trattate.

Tuttavia questo non vuol dire che questa sia l'unica o la migliore opzione terapeutica di cui disponiamo.

Nella parte generale di questa trattazione abbiamo elencato e descritto una larga serie di altre opzioni cruente e non le quali, se correttamente applicate nelle giuste indicazioni, sono certamente in grado di garantire risultati altrettanto ragguardevoli.

Certamente molte tecniche hanno il vantaggio di concludere gran parte del lavoro della cura nell'atto chirurgico iniziale, come i trapianti osteo-corticali applicati con placche e viti, che non richiedono controlli continui e riducono il tempo di sofferenza del paziente.

Questi due fattori rappresentano in qualche modo il limite principale della tecnica da noi seguita.

La necessità di controlli clinici e radiologici continui e l'eventuale interposizione di piccoli interventi di correzione o di sostituzione dei fili, comporta la necessità di una accurata scelta del paziente, che è bene che non sia troppo aggressivo, e del proprietario che

deve essere affidabile e disponibile dovendo di fatto collaborare direttamente alla procedura nel suo complesso.

Tutto questo incide anche molto sui costi, che restano comunque elevati, anche se opportunamente diluiti nell'arco del lungo tempo di complessiva durata del trattamento.

Anche il chirurgo è chiamato ad un impegno maggiore sia nella scelta e nella programmazione della strategia terapeutica sia nella serie di controlli necessari.

Nella valutazione finale contano molto, a nostro giudizio, anche l'attitudine e l'esperienza che ciascun operatore matura nel corso della propria attività, fattori questi che possono orientare le scelte in una direzione piuttosto che in altra.

Il punto di forza che ci sembra di poter rimarcare per le tecniche da noi preferite sta nella possibilità di fronteggiare complicanze e praticare correzioni, di poter acquisire come favorevoli anche dei risultati parziali, in una logica di plasticità che è propria delle tecniche di FSE.

Molte altre tecniche sono invece caratterizzate dal risultato "tutto o niente", che in caso di insuccesso possono lasciare il soggetto in una condizione anche peggiore di quella presente prima della cura e questa è per noi una possibilità assai difficile da accettare.

## ***BIBLIOGRAFIA***

- Aronson J; *Temporal and spatial increases in blood flow during distraction osteogenesis*; **CLIN ORTHOP**, 301, 25-30; 1994
- Aron Dennis N; *Miscellaneous Disorders*; **CURRENT TECHNIQUES IN SMALL ANIMAL SURGERY (BOJRAB)**; 1983
- Atilola M A O, Sumner SG: *Nonunion fractures in dogs*; **J VET ORTHOP** 3:21; 1984
- Barbarossa Vladimir et al.; *Treatment of osteomyelitis and infected non-union of the femur by a modified ilizarov technique: follow-up study*; **CROATIAN MEDICAL JOURNAL** 42(6) 634-641; 2001
- Bassett, C.A.L., and Becker, R.O; *Generation of electric potentials in bone in response to mechanical stress*; **SCIENCE**, 137, 1063-1064; 1962
- Berbero G.F, M.Mosconi, R. Vanelli, F. Cuzzocrea; *Trattamento chirurgico delle pseudoartrosi diafisarie di avambraccio mediante placca semitubulare ed innesto osseo autoplastico*; **RIV CHIR MANO** V.39(3); 2002

- Bhandari M J, Schemitsch E H; *High-pressure irrigation increases adipocyte-like cells at the expense of osteoblasts in vitro.* **J BONE JOINT SURG,84B, 1054-1061 ; 2002**
- Brown S Gary,Paul c. Kramers ; *Guarigione indiretta del tessuto osseo secondaria ;***BOJRAB ; 2001**
- Brent E. Wilkens, Darryl L. Millis et al.; *Metabolic and histologic effects of recombinant canine somatotropin on bone healing in dogs, using an unstable ostectomy gap mode,* **AJVR VOL.57, N. 9 ; 1996**
- Brighton C.T., Shaman P. et al.; *Tibial non-union treated with direct current, capacitive coupling or bone graft;* **CLIN ORTHOP REL RES, 321, 223-234; 1995**
- Brinker Piermattei Flo: *Delayed Union and Nonunion;* **HANDBOOK OF SMALL ANIMAL ORTHOPEDICS AND FRACTURE TREATMENT ;1990**
- Cannadell J.,Forriol F; *The external fixator in the treatment of infected pseudoarthrosis and bone defects* **OSTEOSYNTHESE INT; 5 :221-225 ; 1997**

- Celebi L, Dogan O, et al.; *Treatment of humeral pseudarthroses by open reduction and internal fixation*; **ACTA ORTHOP TRAUMATOL TURC 39(3) 205-21; 2005**
- Chen X. et al.; *Osteogenic protein -1 induced bone formation in an infected segmental in the rat femur*,  
**J ORTHOP RES, 20, 142-150; 2002**
- Daftari TK, Whitesides TE, Heller JG et al ; *Nicotine on the revascularization of bone graft: an experimental study on rabbits*;  
**SPINE 19, 904-911; 1994**
- Darryl L.Millis e Aaron M. Jackson; *Unioni ritardate, non unioni e malunioni*, **TRATTATO DI CHIRURGIA DEI PICCOLI ANIMALI, SLATTER; 2003**
- DE Gresti, G.F Penna, A. Brenna, N. Confalonieri; *L'apparato di Ilizarov nella traumatologia del cane*; **PRAXIS VET. 3; 1986**
- Delloye C N, Guido D, Coutelier L. et al.; *Bone regenerate formation in cortical bone during distraction lengthening*; **CLIN ORTHOPED; 250:34-41; 1990**

- Egger E.L. et al; *Canine osteotomy healing when stabilized decreasing rigid fixation compared to constantly rigid fixation* **VET. COMP. ORTHOP. TRAUMA, 6, 182-187; 1993**
- Eldridge J, Bell D; *Problems with substantial limb lengthening;* **ORTHOP CLIN NORTH AM, 22:625-631;1991**
- Ferretti A; *The application of the Ilizarov technique to veterinary medicine.* IN BIANCHI-MAIOCCHI A, ARONSON J: **OPERATIVE PRINCIPLES OF ILIZAROV ;551-570; 1991**
- Friedlaender et al.; *Osteogenic protein -1(bone morphogenetic protein-7) in the treatment of tibial nonunions;* **J BONE JOINT SURG. S 151-158; 2001**
- Frierson K M, Ibrahim, Boles M, et al; *Distraction osteogenesis .A comparison of -corticotomy techniques;* **CLIN ORTHOP 301, 19-24; 1994**
- Frost HM; *Bone remodeling and its relations to metabolic bone diseases;* **ORTHOP FRAC; 3:1; 1973**
- Gualdrini G, M.Fravisini, C. Stagni, A. Giunti; *The effects of cigarette smoke on the progression of septic pseudoarthrosis of the femur treated by Ilizarov external fixator;* **G.I.O.T 30,56-59; 2004**

- G.Monticelli, et al. *Trattamento delle pseudoartrosi*; **ORTOPEDIA E TRAUMATOLOGIA; 1991**
- Garg NK, Gaur S., Sharma S; *Percutaneous autogenous bone marrow grafting in 29 cases of ununited fracture* ; **ORTHOP SCAND, 64, 671-672; 1993**
- Geoff Sumner-Smith, *Non-union of fractures*; **BONE IN CLINICAL ORTHOPEDICS; 2002**
- Gupta RC, Mishra US et al.; *The role of osteomedullography in the management of delayed union and non union of diaphyseal fractures of the long bones: preliminary report*;. **INJURY 9(3) 236-44; 1978**
- Hadjiargyrou M.et al.; *Enhancement of fracture healing by low intensity ultrasound*; **CLIN ORTHOP, 355, S 216; 1998**
- Hente R , B. Fuchtmeimer et al.; *The influence of cyclic compression and distraction on the healing of experimental tibial fractures*; **JOURNAL OF ORTHOPAEDIC RESEARCH; 22; 709-715;2004**
- Hornicek Francis J, Gregory A. Zych et al.; *Salvage of humeral non-unions with onlay bone plate allograft augmentation*;

**CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH;  
N 386, 203-209; 2001**

- 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; 238, 249-280; 1989**
- Inian M., Karaoglu S. et al.; *Treatment of femoral nonunions by using cyclic compression and distraction;* **CLIN ORTHOP RELAT. RES. 436, 222-228; 2005**
- James H. Beaty; *Consolidazione ossea e innesti,* **AMERICAN ACADEMY OF ORTHOPAEDIC SURGEONS; ORTOPEDIA SYLLABUS; 2002**
- James W. Milgram, M.D.; *Non union and pseudarthrosis of fracture healing;* **CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH N 268;1991**
- Jensen JA, Goodson WH, Hopf HW et al.; *Cigarette smoking decreases tissue oxygen;* **ARCH SURG, 126, 1131-1134; 1991**
- Johan Lammens, G. Bauduin e al.; *Treatment of nonunion of the humerus using the ilizarov external fixator;* **CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH N. 353, 223-230; 1998**

- Johannes EJ et al; *High-energy shock waves for the treatment of nonunions: An experiment on dogs*; **J SURG RES; 57:246; 1994**
- Josten C, Kremer M, Muhr G. Ilizarov; *Procedure in pseudarthrosis*, **ORTHOPAED 25(5) 405-415, 1996**
- Lamagna F, Meomartino L, Cuomo A, Potena A.; *Use of the Ilizarov external fixator in the treatment of nonunion and delayed union in small animals*; **ATTI DELLA SOCIETÀ ITALIANA DELLE SCIENZE VETERINARIE; 1994**
- Lamagna F, Potena A; *External axial compression and intramedullary pinning in the treatment of lesions of femoral shaft in the dog*; **ATTI DELLA SOCIETÀ ITALIANA DELLE SCIENZE VETERINARIE; 1996**
- Lamagna F, Fatone G, Meomartino L, Potena A, *Utilization of ilizarovs apparatus in orthopaedic surgery of small animals: retrospective clinical and statistical evaluation on 54 cases*; **ATTI DELLA SOCIETÀ ITALIANA DELLE SCIENZE VETERINARIE; 1997**
- Leah C. Jackson P.D. Pacchiana, *Common complications of fracture repair*; **CLINICAL TECHNIQUES IN SMALL ANIMAL PRACTICE 19, 168-179; 2004**

- Marcellin –Little DJ, Ferretti A; *Improving bone healing with the circular external fixation method*; **VET FORUM 7, 40-47; 1997**
- Marcellin-Little DJ Ferretti A et al.; *Hinged ilizarov external fixation for correction of antebrachial deformities*; **VETERINARY SURGERY, 27, 231-245 1998**
- Marcellin –Little DJ; *Fracture treatment with circular external fixation*; **VETERINARY CLINICS OF NORTH AMERICA:SMALL ANIMAL PRACTICE; 1999**
- Marvin L .Olmstead; *Complicazioni delle fratture*; **CLINICA VETERINARIA DEL NORD AMERICA PICCOLI ANIMALI; 1994**
- Marvin L. Olmstead; *Malunion, delayed union and non-union*; **SMALL ANIMAL ORTHOPEDICS; 1995**
- Megas P, Zouboulis P, Papadopoulos AX et al. ; *Distal tibial fractures and non-union treated with shortened intramedullary nail*; **INT ORTHOP 27(6) 348-351; 2003**

- Meister KM, Segal D, Whielaw GP :*The role of bone grafting in the treatment of delayed unions and nonunions of the tibia* ; **ORTHOP REV, 261-271, 19(3); 1990**
- Miller A. Coughlan A.; **ATLANTE DI ORTOPEDIA DEI PICCOLI ANIMALI ; 1998**
- Newton C.D, Nunamaker D.M, *Delayed union, non union, and malunion* ;**TEXTBOOK OF SMALL ANIMAL ORTHOPAEDICS ;1985**
- Owen M.A; *Use of the ilizarov method to manage a septic tibial fracture nonunion with a large cortical defect*; **JOURNAL OF SMALL ANIMAL PRACTICE 41, pp. 124-127; 2000**
- Paley Dror, M.A. Catagni e al.; *Ilizarov treatment of tibial nonunions with bone loss*; **CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED, N 241; 1989**
- Paley Dror; *Treatment of malunions and mal-nonunions of the femur and tibia by detailed preoperative planning and the ilizarov technique*; **ORTHOPEDIC CLINICS OF NORTH AMERICA V. 21, N 4; 1990**

- Perren SM, *Guarigione diretta del tessuto osseo(primaria)*, **BOJRAB ; 2001**
- Piermattei DL, Flo GL; **HANDBOOK OF SMALL ANIMAL ORTHOPEDICS AND FRACTURE REPAIR; 1997**
- Puranen J, Kaski P; *The clinical significance of osteomedullography in fractures of the tibial shaft*; **J BONE JOINT SURG; 56(4) 759-776; 1974**
- Rodriguez-Merchan E C, F.Forriol, *Non-union:general principles and experimental data*; **CLIN ORTHOP N 419; 2004**
- Robello GT, Aron D.N. *Delayed union and non-union fractures* **SEMINARS IN VETERINARY MEDICINE AND SURGERY (SMALL ANIM) 7(1) 98-104, 1992.**
- Russe O; *Fracture of the carpal navicular: Diagnosis nonoperative treatment, and operative treatment* ; **J BONE JOINT SURG ; 42 A: 759-768; 1960**
- Schwartzman V et al.; *Tibial nonunions treatment tactics with the ilizarov method*; **ORTHOPEDIC CLINICS OF NORTH AMERICA vol.21; 1990**

- Shervin M.A, Gastwirth C.M ; *Detrimental effects of cigarette smoking on lower extremity wound healing*; **FOOT SURG; 29, 84 - 87; 1990**
- Stallings,J T,Lewis, D D, et al.; *An introduction o distraction osteogenesis and the principles of de Ilizarov method*; **VETERINARY AND COMPARATIVE ORTHOPAEDICS AND TRAUMATOLOGY, 11,59-67;1998**
- Stevenson S., Li XQ, Davy DT, Klein L,Goldberg VM ; *Critical biological determinants of incorporation of non-vascularized cortical bone grafts :Quantification of a complex process and structure et al.*; **J BONE JOINT SURG ; 79 A :1-16 ;1997**
- Sudhir Babhulkar et al; *Non-union of the diaphysis of long bones*; **CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH, N 431 50-56; 2005**
- Thommasini MD,CW Betts: *Use of the Ilizarov external fixator in a dog*; **VCOT3(4),70-76; 1991**
- Vaughan L.C; *A clinical study of non-union fractures in the dog*, **J SMALL ANIM PRACT; 5: 173; 1964**

- Warden SJ et al.; *Acceleration of fresh fracture repair using the sonic accelerated fracture healing system: a review*; **CALCIF TISSUE INT 66, 157; 2000**
- Weber B.G., Cech O; **PSEUDOARTROSI; 1989**
- Weber BG, CECH O, *Pathophysiology, Biomechanics, Therapy, Results, Bern, PSEUDOARTHROSIS, 1976*
- Welch RD, Birch JG, Samchukov ML; *Histomorphology of distraction osteogenesis in a caprine tibial lengthening model*; **J BONE MINER RES, 13, 1-9; 1998**
- Welch R D e al.; *Distraction osteogenesis*, **VETERINARY CLINICS OF NORTH AMERICA SMALL ANIMAL PRACTICE; V. 29; N5; 1999**
- Y. Latte, J-A. Meynard ; **MANUEL DE FIXATION EXTERNE ; 1997**