



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA
DIPARTIMENTO DI MEDICINA CLINICA, SANITÀ PUBBLICA, SCIENZE
DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Dottorato di Ricerca in Scienze della Salute e dell'Ambiente

Curriculum in Fisiopatologia del Sistema Stomatognatico

XXXVIII ciclo

Titolo della tesi

Guarigione transmucosa attorno a impianti con collare liscio associata a rigenerazione
ossea guidata orizzontale: un case series con follow-up a 3 anni

SSD: MED/28 – MEDS-16/A

Dottorando

Margherita Giorgia Liguori

Matricola: 288928

Coordinatrice del corso

Prof.ssa Rita Roncone

Tutor

Prof. Enrico Marchetti

a.a. 2024/2025

A chi ci sarà sempre

INDICE

ABSTRACT	7
PRIMA PARTE: INTRODUZIONE	
CAPITOLO 1 – La riabilitazione implanto-protesica	8
1.1 Concetti generali di riabilitazione implanto-protesica	
1.2 Classificazione degli impianti	
1.3 Macroarchitettura e microarchitettura implantare	
1.4 Protocolli di posizionamento implantare	
CAPITOLO 2 – Anatomia dei tessuti peri-implantari	15
2.1 Definizione di mucosa peri-implantare sana	
2.2 Ampiezza biologica	
2.3 Configurazioni implantari rispetto alla cresta ossea	
2.4 Successo e Sopravvivenza	
CAPITOLO 3 – Gestione della cresta ossea atrofica	19
3.1 Sequenza biologica di guarigione dell'alveolo post-estrattivo	
3.2 Classificazioni dell'atrofia ossea	
3.3 Valutazione preoperatoria: ruolo dell'imaging	
3.4 Indicazioni terapeutiche alternative alla rigenerazione ossea guidata	
CAPITOLO 4 – Rigenerazione ossea guidata (GBR)	34
4.1 Biologia della rigenerazione	
4.2 Indicazioni per la GBR orizzontale	
4.3 Panoramica dei biomateriali nella GBR	
4.4 Complicanze comuni della GBR	

SECONDA PARTE: SPERIMENTAZIONE

CAPITOLO 5 – Materiali e Metodi	52
CAPITOLO 6 – Risultati	59
CAPITOLO 7 – Discussione	63
CAPITOLO 8 – Conclusioni	66
 BIBLIOGRAFIA	 67

ABSTRACT

Objectives: To evaluate the medium-term clinical, radiographic, and esthetic outcomes of polished-collar implants placed with simultaneous horizontal guided bone regeneration (GBR) and transmucosal healing, after a minimum follow-up of 3 years.

Materials and Methods: Patients treated with implant placement and simultaneous GBR between January 2021 and November 2022 were screened. Inclusion criteria included placement of a polished-collar implant, horizontal GBR, and transmucosal healing. Baseline (BL) was defined at crown delivery, and follow-up (FU) was performed after at least 3 years. The primary outcome was change in marginal bone level (Δ MBL). Secondary outcomes included probing depth (PD), bleeding on probing (BoP), plaque control record (PCR), keratinized tissue (KT), mid-facial recession (Rec), and Pink Esthetic Score (PES). Non-parametric tests were applied.

Results: Twenty patients (12 males, 8 females) were included, with a mean follow-up of 42.0 ± 5.2 months. Mean MBL was 1.06 ± 0.55 mm at BL and 1.10 ± 0.52 mm at FU (Δ MBL: -0.08 ± 1.02 mm). Fifty percent of implants showed no bone loss or slight gain, 45% <1 mm loss, and 5% between 1.0–1.5 mm; no implant showed ≥ 1.5 mm loss. PD, BoP, KT, and Rec remained unchanged ($p > 0.05$), while PCR increased ($p = 0.013$). PES improved from 10.40 ± 1.79 to 11.90 ± 1.80 ($p < 0.001$). Implant survival was 100%. Peri-implant health was observed in 85% of cases, and mucositis in 15%, with no peri-implantitis.

Conclusion: Simultaneous horizontal GBR with transmucosal healing around polished-collar implants resulted in stable marginal bone levels and favorable clinical and esthetic outcomes after 3 years of loading.

Clinical Relevance: The combination of horizontal GBR and transmucosal healing may reduce the need for additional surgical procedures while maintaining stable peri-implant conditions over time.

CAPITOLO 1

La riabilitazione implanto-protesica

1.1 Concetti generali di riabilitazione implanto-protesica

La moderna implantologia si è sviluppata a partire dagli anni Sessanta, evolvendo da una disciplina sperimentale a una modalità terapeutica consolidata e ampiamente documentata. Il concetto di osteointegrazione, introdotto da Brånemark, ha rappresentato il punto di svolta che ha permesso di formulare protocolli chirurgici riproducibili e di ottenere risultati stabili nel tempo (Brånemark et al., 1977). Negli ultimi decenni, le innovazioni nel design implantare, nelle tecniche chirurgiche e nella pianificazione hanno ampliato le indicazioni cliniche, rendendo la terapia implantare una scelta affidabile in una vasta gamma di condizioni cliniche. Attualmente, nei pazienti sistemicamente sani e in condizioni anatomiche favorevoli, i tassi di successo a lungo termine degli impianti risultano stabilmente elevati, generalmente compresi tra il 90% e il 95% (Esposito et al., 1998; Buser et al., 2017). Le principali indicazioni comprendono:

- monoedentulia;
- edentulie parziali intercalari o distali;
- edentulie totali trattate con protesi fisse o con protesi rimovibili ancorate a impianti.

Le controindicazioni assolute al trattamento sono rare, mentre alcune condizioni sistemiche possono influenzare la prognosi implantare e richiedono una valutazione clinica approfondita. Il diabete non controllato riduce la capacità di guarigione e aumenta la suscettibilità alle infezioni (Balshi & Wolfinger, 1999). L'osteoporosi è associata a una riduzione della densità ossea che può interferire con l'osteointegrazione (Baxter & Fattore, 1993). I pazienti immunocompromessi o sottoposti a trattamenti che interferiscono con i processi riparativi presentano un rischio aumentato di complicanze (Beikler & Flemmig, 2003). La radioterapia del distretto testa-collo determina una

riduzione della vascolarizzazione locale che può compromettere la guarigione e favorire l'insorgenza di osteonecrosi (Coulthard et al., 2003).

Anche alcuni fattori locali possono incidere negativamente sull'esito del trattamento. Il fumo altera la perfusione tissutale, modifica la flora batterica orale e riduce l'efficienza dei processi riparativi (Bain & Moy, 1993). Le parafunzioni, come bruxismo e serramento, generano forze laterali ripetute che possono interferire con la stabilità implantare e con il rimodellamento osseo (Lobbezoo et al., 2006).

1.2 Classificazione degli impianti

Gli impianti endossei rappresentano il riferimento nella pratica contemporanea. Tra le classificazioni più rilevanti per la gestione clinica, una distinzione fondamentale riguarda la posizione della connessione protesica (Degidi et al., 2011):

- Gli impianti **bone level** presentano la connessione a livello della cresta ossea, consentendo un controllo accurato del profilo di emergenza e una maggiore flessibilità protesica, caratteristica utile soprattutto nei settori anteriori.
- Gli impianti **tissue level**, invece, integrano un collare transmucoso nella struttura implantare, posizionando la connessione al di sopra dei tessuti molli. Questa configurazione riduce l'esposizione del micro-gap all'ambiente orale e favorisce una guarigione transmucosa stabile, risultando utile nei settori posteriori o quando la gestione dei tessuti molli è prioritaria.

Un'ulteriore distinzione riguarda la struttura del dispositivo: gli impianti possono essere a una componente, con porzione endossea e tratto transmucoso integrati in un'unica unità, oppure a due componenti, con una connessione avvitata successivamente.

Entrambe le soluzioni sono ampiamente documentate in letteratura come affidabili dal punto di vista clinico (Barrachina-Diez et al., 2013).

Per quanto riguarda la forma radicolare, gli impianti possono presentare una geometria conica o a pareti parallele. Gli impianti conici offrono una progressione più graduale durante l'inserimento e possono essere preferiti nei siti con creste che tendono ad assottigliarsi apicalmente o in presenza di radici prossime tra loro. Gli impianti a pareti parallele, invece, garantiscono un contatto più uniforme lungo la superficie laterale e

risultano utili in creste di buon volume, dove la distribuzione delle sollecitazioni può beneficiare di una geometria più regolare (Negri et al., 2013).

1.3 Macroarchitettura e microarchitettura implantare

Gli impianti dentali hanno attraversato un'evoluzione significativa dal punto di vista dei materiali, della geometria e delle superfici. Il titanio, utilizzato come materiale commercialmente puro o come lega, rappresenta attualmente lo standard grazie alla sua biocompatibilità e alle eccellenti caratteristiche meccaniche. La zirconia, pur mostrando risultati incoraggianti, è impiegata meno frequentemente a causa delle incertezze legate alla resistenza alla frattura, complicità osservata con maggiore incidenza nelle fasi iniziali successive alla sua introduzione.

La macroarchitettura include la geometria del corpo implantare e la presenza delle spire, elementi che influenzano la stabilità primaria e la distribuzione dei carichi masticatori. L'introduzione di design specificamente ottimizzati per migliorare l'ancoraggio iniziale ha permesso un ampliamento dei protocolli chirurgici, rendendo prevedibile la stabilità anche in situazioni ossee meno favorevoli.

La microarchitettura riguarda le caratteristiche superficiali dell'impianto. Negli ultimi decenni, la transizione dalle superfici lisce alle superfici microrugose ha rappresentato uno dei progressi più significativi, con un impatto diretto sulla rapidità e sulla qualità dell'osteointegrazione. Tecniche sottrattive come sabbiatura e mordenzatura e metodiche additive come i rivestimenti in titanio o idrossiapatite hanno permesso di ottenere superfici con topografie ottimali per favorire l'adesione e la maturazione dell'osso neoformato. L'adozione di superfici rugose ha contribuito anche alla riduzione dei tempi di guarigione necessari prima della fase protesica (Dos Santos, Elias, & Cavalcanti Lima, 2011).

1.4 Protocolli di inserimento implantare

Brånemark (Brånemark et al., 1977) definì un protocollo chirurgico in due fasi che rese prevedibile il successo degli impianti endossei a vite a due componenti. Il primo intervento prevedeva la preparazione del sito implantare, l'inserimento della fixture e la

completa sommersione dell'impianto mediante sutura del lembo, al fine di favorire una guarigione indisturbata e ridurre il rischio di contaminazioni e micromovimenti. Dopo un periodo di 4–6 mesi si procedeva alla riapertura, con sostituzione della vite tappo con una vite di guarigione transmucosa, necessaria per l'emergenza implantare e la successiva fase protesica.

L'evoluzione delle superfici implantari e una migliore comprensione dei processi di osteointegrazione hanno successivamente permesso protocolli meno invasivi, come l'approccio one-stage, che prevede la guarigione transmucosa mediante posizionamento diretto della vite di guarigione (Ericsson et al., 1994), evitando un secondo tempo chirurgico.

Figura 1. Guarigione transmucosa dell'impianto con vite di guarigione visibile all'interno del cavo orale.

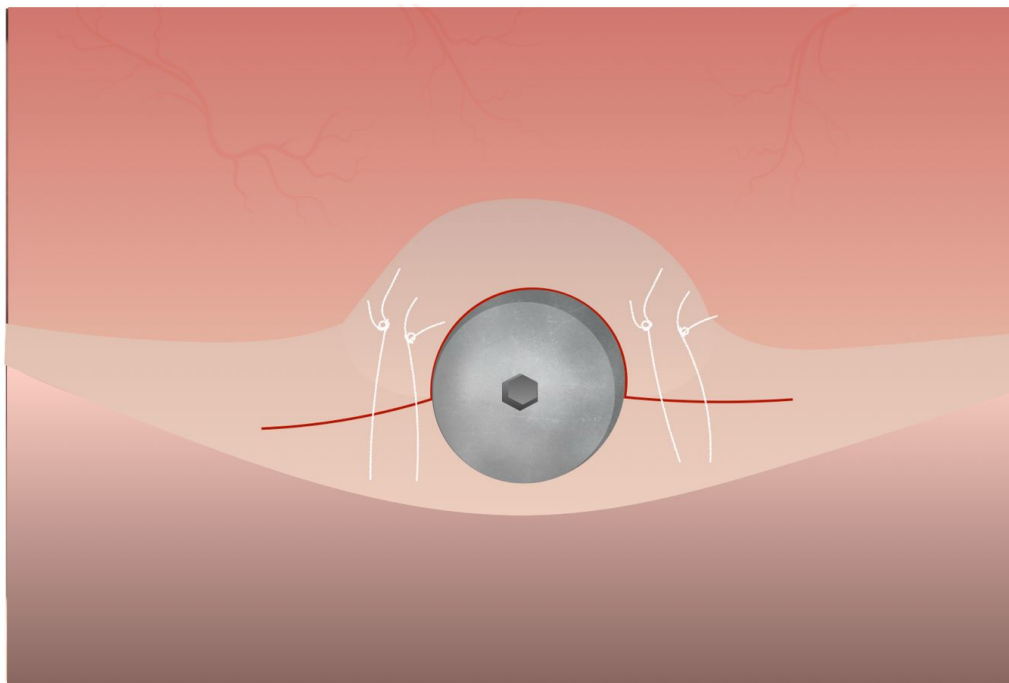
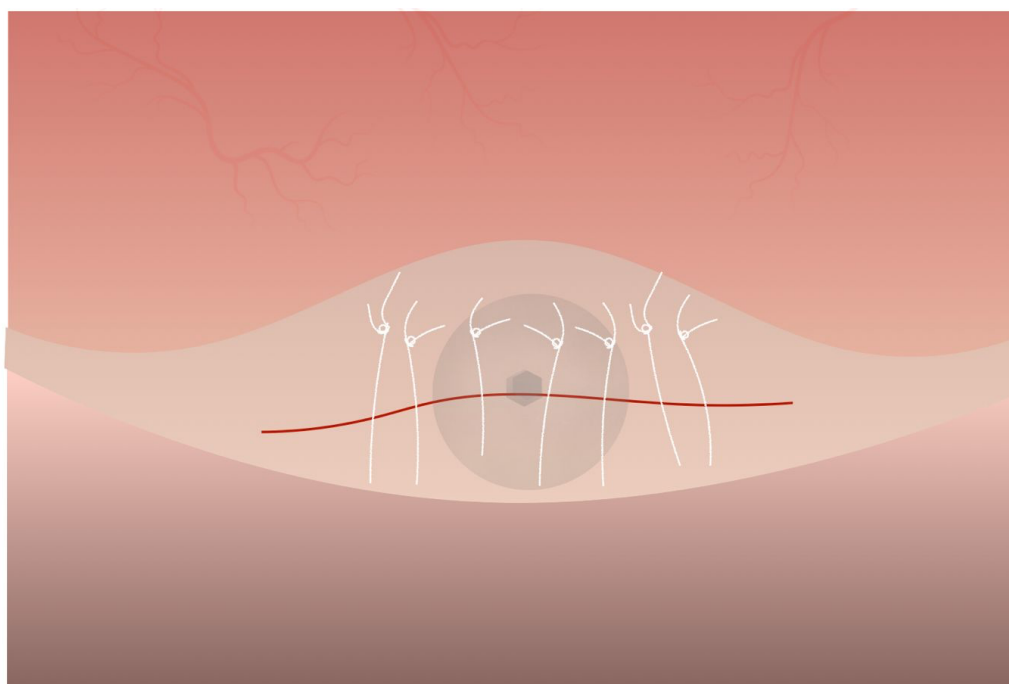


Figura 2. Guarigione sommersa dell'impianto con cover screw al di sotto dei tessuti molli e chiusura per prima intenzione.



Parallelamente, l'attenzione si è concentrata anche sulla tempistica di inserimento dell'impianto dopo l'estrazione dentaria, poiché i cambiamenti morfologici dei tessuti duri e molli influenzano stabilità, guarigione e gestione della cresta.

È in questo contesto che Hämmerle (2004) ha proposto una classificazione dei protocolli post-estrattivi in quattro categorie distinte, basate sul grado di guarigione dei tessuti al momento dell'inserimento implantare:

- Nel **Tipo 1**, o posizionamento immediato, l'impianto viene inserito contestualmente all'estrazione, in un alveolo fresco privo di guarigione tissutale. Questo approccio riduce sensibilmente i tempi di trattamento e il numero di interventi, ma non impedisce il rimodellamento fisiologico della cresta, soprattutto a livello vestibolare, e richiede condizioni anatomiche favorevoli nonché un'attenta valutazione della stabilità primaria. La letteratura ha mostrato che, se adeguatamente selezionati, i casi trattati con questo protocollo possono raggiungere tassi di sopravvivenza simili a quelli ottenuti in siti guariti, sebbene spesso sia necessario ricorrere a tecniche rigenerative per compensare i deficit ossei post-estrattivi.
- Nel **Tipo 2**, definito posizionamento precoce, l'inserimento dell'impianto avviene dopo 4–8 settimane dall'estrazione, ossia quando la guarigione dei tessuti molli è completata, ma il processo di rigenerazione ossea non ha ancora raggiunto un livello avanzato. Questo intervallo consente di operare in un ambiente mucoso stabilizzato, riducendo alcune criticità biologiche dell'inserimento immediato, pur mantenendo un tempo complessivo di trattamento relativamente contenuto. Anche in questo caso, la stabilità primaria e la quantità di osso residuo influenzano la necessità di interventi di augmentazione contestuali.
- Il **Tipo 3** prevede un inserimento differito dopo 12–16 settimane, quando l'alveolo ha già subito un significativo grado di riempimento osseo e il processo di rimodellamento è in una fase avanzata, seppur non conclusa. Questo protocollo può essere indicato quando né l'inserimento immediato né quello precoce risultano appropriati, ad esempio per la presenza di difetti ossei parziali, infezioni pregresse o difficoltà nel raggiungere una stabilità primaria adeguata.

L'ambiente chirurgico, più maturo dal punto di vista tissutale, rende questo approccio una soluzione intermedia fra rapidità e sicurezza biologica.

- Il **Tipo 4**, o posizionamento tardivo, prevede l'inserimento implantare in una cresta completamente guarita, generalmente dopo almeno 4–6 mesi dall'estrazione. Questo protocollo rappresenta la scelta più consolidata in termini di predicibilità e documentazione a lungo termine. Permette di operare su tessuti ossei e molli totalmente stabilizzati, riducendo le variabili biologiche e facilitando l'ottenimento della stabilità primaria. È l'approccio elettivo nei casi complessi, in presenza di difetti ossei significativi o quando sono necessari interventi rigenerativi preliminari.

La scelta del timing implantare deve essere sempre guidata dalla valutazione clinica e radiografica del sito, dalla quantità e qualità dell'osso residuo e dalle esigenze protesiche del paziente. Le modificazioni che interessano i tessuti duri e molli dopo l'estrazione dentaria — documentate già storicamente da Pietrokovski e Massler (1967) — rappresentano un fattore chiave nella pianificazione. La conoscenza dei pattern di rimodellamento e dei tempi biologici di guarigione consente di selezionare il protocollo più idoneo a garantire una guarigione stabile, una corretta integrazione funzionale e, quando richiesto, risultati estetici prevedibili.

CAPITOLO 2

Anatomia dei tessuti peri-implantari

2.1 Definizione di mucosa peri-implantare sana

In condizioni fisiologiche, la mucosa peri-implantare forma un attacco transmucoso che ha funzione di barriera nei confronti del cavo orale. La gengiva cheratinizzata che circonda l'impianto presenta un colore roseo uniforme, una consistenza compatta e, talvolta, un aspetto puntinato analogo alla "buccia d'arancia". Dal punto di vista microscopico, la mucosa peri-implantare condivide molte caratteristiche con la gengiva attorno ai denti naturali: entrambe presentano epitelio orale cheratinizzato continuo con un epitelio giunzionale sottile (Berglundh et al., 1991). La principale differenza riguarda il tessuto connettivo: mentre nel dente naturale esistono fibre collagene orientate per inserirsi nel cemento radicolare, attorno all'impianto le fibre decorrono parallelamente alla superficie della fixture e originano principalmente dal periostio della cresta ossea (James 1980; Ruggeri 1992). Ne deriva una relazione di contiguità piuttosto che un attacco connettivale vero e proprio. I fibroblasti svolgono un ruolo fondamentale nel mantenimento di questa interfaccia (Moon 1999).

La mucosa peri-implantare viene definita sana quando è priva di segni clinici o istologici di mucosite o perimplantite e quando i criteri classici di salute implantare – inizialmente descritti da Schnitman e Shulman (1979) e successivamente sistematizzati da Albrektsson et al. (1981) – risultano soddisfatti. Il mantenimento dell'igiene orale domiciliare rappresenta un elemento imprescindibile per la stabilità dei tessuti peri-implantari nel tempo.

In sintesi, la mucosa peri-implantare sana presenta caratteristiche morfologiche simili a quelle gengivali, ma differisce nell'organizzazione del connettivo e nell'orientamento delle fibre collagene, due elementi determinanti nella dinamica dei tessuti molli attorno agli impianti.

2.2 Ampiezza Biologica

Gli studi istologici sulla guarigione peri-implantare hanno permesso di descrivere con precisione la struttura del complesso epitelio-connettivo che circonda il collo implantare. A livello clinico, dopo alcuni mesi dalla connessione abutment-fixture, gengiva e mucosa peri-implantare mostrano un aspetto simile. Radiograficamente, la cresta ossea tende a stabilizzarsi in prossimità della giunzione impianto-abutment, in analogia con quanto osservato attorno ai denti naturali (Berglundh et al., 1991).

Istologicamente, la mucosa peri-implantare è costituita da:

- un epitelio orale cheratinizzato che si estende per circa 2 mm in senso coronale-apicale;
- una banda di tessuto connettivo sopralveolare di circa 1–1,5 mm;
- fibre collagene orientate parallelamente alla superficie implantare.

La maturazione di questo complesso richiede diverse settimane: l'epitelio giunzionale completa la propria organizzazione tra la sesta e l'ottava settimana, mentre la riorganizzazione del collagene avviene in 4–6 settimane (Berglundh 2007). Il valore complessivo dell'ampiezza biologica peri-implantare si attesta dunque intorno ai 3–3,5 mm, con una struttura simile ma non identica a quella peri-dentale.

2.3 Configurazioni implantari rispetto alla cresta ossea

La posizione della fixture rispetto al livello della cresta ossea residua determina tre principali configurazioni implantari: subcrestale, juxta-ossea (bone-level) e transmucosa (tissue-level). La scelta della configurazione dipende dalla morfologia del sito, dal biotipo tissutale e dagli obiettivi protesici ed estetici.

Posizionamento subcrestale

In questa configurazione le spire implantari si trovano completamente al di sotto della cresta ossea. Alcuni autori suggeriscono che possa favorire la stabilità del livello osseo crestale, anche se altri fattori – tra cui tipo di lembo e trattamento di superficie – possono influenzare il risultato (Hammerle et al., 1996).

Posizionamento juxta-osseo (bone-level)

L'emergenza del collo implantare coincide con il margine della cresta ossea. Gli impianti bone-level rappresentano lo standard nelle zone ad alta valenza estetica grazie alla possibilità di modellare in modo più preciso il profilo di emergenza (Buser 2016). Il concetto di **platform switching**, che prevede l'uso di abutment di diametro inferiore rispetto alla piattaforma implantare, contribuisce al mantenimento dell'osso crestale e alla stabilità del tessuto molle (Aslam 2018). Risultati favorevoli sono stati osservati soprattutto se confrontati con impianti transmucosi (Chappuis 2016).

Posizionamento transmucoso (tissue-level)

In questo caso la porzione cervicale dell'impianto emerge al di sopra della cresta ossea ed è in continuità diretta con la mucosa. Gli impianti tissue-level consentono una gestione dei tessuti prevedibile e riducono l'esposizione del micro-gap al livello osseo, ma presentano limiti nelle aree estetiche a causa della posizione emergente del collare (Menini et al., 2022).

2.4 Successo e sopravvivenza implantare

Il concetto di successo implantare è stato definito nella letteratura classica da Albrektsson e collaboratori, che hanno introdotto criteri oggettivi basati su stabilità, salute dei tessuti e comportamento radiografico. Secondo tali criteri, un impianto può essere considerato “di successo” quando presenta:

- assenza di dolore, mobilità o suppurazione;
- assenza di radiotrasparenze perimplantari;
- perdita ossea marginale contenuta nei limiti attesi nel primo anno e negli anni successivi.

La sopravvivenza implantare, invece, rappresenta un concetto più ampio e meno stringente: un impianto è considerato “sopravvissuto” quando rimane in situ e può sostenere una riabilitazione funzionale, anche in presenza di complicanze o di perdita ossea marginale superiore ai parametri previsti dal successo. Nella letteratura contemporanea, entrambi i concetti sono utilizzati per valutare gli esiti delle riabilitazioni implantari. Tuttavia, la differenza sostanziale sta nel fatto che:

- **successo** implica una condizione clinica ottimale e stabile;
- **sopravvivenza** indica la mera permanenza dell'impianto in funzione, anche se non ideale.

Il mantenimento dell'igiene orale, la qualità dei tessuti peri-implantari, la stabilità dei tessuti duri e molli e la corretta progettazione protesica rappresentano fattori determinanti per favorire esiti favorevoli nel lungo periodo (Albrektsson et al., 1981).

CAPITOLO 3

3.1 Sequenza biologica di guarigione dell'alveolo post-estrattivo

L'estrazione di un elemento dentario innesca una sequenza complessa e perfettamente coordinata di eventi biologici che coinvolgono l'alveolo, i tessuti molli e le pareti ossee circostanti. L'osso alveolare, strettamente dipendente dagli stimoli funzionali trasmessi dal dente tramite il legamento parodontale, va incontro a modificazioni rapide e progressive, responsabili della fisiologica atrofia post-estrattiva:

- *Formazione del coagulo ed eventi iniziali*

Immediatamente dopo l'estrazione, gli spazi lasciati dalle radici vengono riempiti da sangue, saliva e siero che formano il coagulo. Questo rappresenta la matrice provvisoria che guiderà la guarigione.

Entro 24 ore compaiono fenomeni di emolisi e si osservano perifericamente fibroblasti e fibrina. A partire dal secondo giorno il coagulo inizia a essere sostituito da tessuto di granulazione ricco di piccoli vasi, fibroblasti e leucociti, con lo scopo di contrastare la contaminazione batterica.

- *Formazione del tessuto di granulazione e neoangiogenesi*

Tra il 4° e il 7° giorno si sviluppa una nuova rete vascolare che gradualmente invade l'intero alveolo. Nella maggior parte del sito sono presenti fibroblasti, fibre di collagene immature e vasi neoformati, mentre l'epitelio prolifera dai margini della ferita. A due settimane l'alveolo è quasi interamente colmato da tessuto di granulazione riccamente vascolarizzato. Parallelamente, osteoclasti attivi iniziano a riassorbire la lamina dura e creano lacune che permettono all'osso spugnoso e agli osteoblasti di avanzare verso il centro dell'alveolo.

- *Maturazione del tessuto osseo*

Tra la 5a e la 7a settimana compaiono le prime trabecole di osso primario, inizialmente nella porzione apicale. A due mesi l'alveolo è generalmente guarito: la mucosa soprastante appare cheratinizzata e le cavità radicolari sono riempite da osso giovane in via di mineralizzazione. Dal 30° al 90° giorno

l'alveolo viene completamente sostituito da midollo osseo con vasi, cellule infiammatorie e adipociti. Intorno al 120° giorno l'osso diventa lamellare compatto, attraversato da trabecole e rivestito da un connettivo che si comporta in modo analogo al periostio. La guarigione è considerata completa verso i 180 giorni.

- *Modificazioni dimensionali dell'alveolo*

Durante la guarigione, le pareti ossee circostanti subiscono un progressivo rimodellamento (Araujo & Lindhe, 2005). Le misurazioni morfometriche evidenziano che la corticale vestibolare è costantemente più sottile rispetto alla linguale:

- 1 mm sotto la cresta: vestibolare 0,6 mm vs linguale 1,4 mm
- 3 mm: 1,3 mm vs 2,0 mm
- 5 mm: 2,0 mm vs 2,8 mm

A quattro settimane si osserva una riduzione in tutti i punti misurati, con perdita più marcata della corticale vestibolare. Anche l'altezza della cresta varia rapidamente: inizialmente la parete vestibolare è più coronale di 0,3 mm, ma diventa progressivamente più apicale, fino a -1,9 mm alla quarta settimana. Questo spiega perché il collasso della parete vestibolare rappresenti la componente più rilevante della perdita post-estrattiva.

- *Evoluzione dell'atrofia*

La riduzione dell'osso alveolare segue modalità diverse nelle due arcate. Nel mascellare superiore il riassorbimento è prevalentemente centripeto e avviene soprattutto in senso bucco-palatale. La regione anteriore perde il 25% della larghezza nel primo anno e fino al 60% nei primi tre anni. Creste inizialmente di 8 mm possono ridursi a meno di 3 mm entro cinque anni. La regione posteriore presenta ulteriori criticità legate alla pneumatizzazione del seno mascellare. Nella mandibola, invece, il riassorbimento è soprattutto orizzontale nella zona sinfisaria e verticale nei settori posteriori. Nei casi di edentulia totale possono instaurarsi modificazioni sagittali con tendenza alla pseudo-terza classe.

- *Ruolo dell'osso basale e dei muscoli*

A differenza dell'osso alveolare, l'osso basale mantiene più stabilmente la sua morfologia grazie alle inserzioni muscolari, che ne limitano il riassorbimento. Tuttavia, queste inserzioni diventano progressivamente più superficiali in relazione alla cresta residua, influenzando la stabilità protesica e la chirurgia implantare.

3.2 Classificazione delle atrofie ossee

Il processo di atrofia dei mascellari, successivo alla perdita degli elementi dentari, è estremamente variabile e difficilmente standardizzabile: i quadri clinici differiscono per forma, estensione, qualità e quantità di osso residuo. Per questo motivo, nel corso degli anni sono state proposte diverse classificazioni, con l'obiettivo di facilitare il confronto tra casi clinici e di correlare pattern anatomici ricorrenti a opzioni terapeutiche specifiche.

In linea generale, queste classificazioni si basano su due approcci principali:

1. la qualità/densità ossea e l'architettura interna del tessuto;
2. l'aspetto morfologico della cresta residua e il grado di riassorbimento.

Classificazioni basate su qualità e densità ossea

Tra le classificazioni più utilizzate rientrano quelle di Lekholm & Zarb, di Misch e i sistemi che impiegano le Unità Hounsfield (HU) derivate dalla tomografia computerizzata.

Lekholm & Zarb (1985) hanno proposto una classificazione della qualità ossea fondata sulla valutazione radiografica preoperatoria e sulla percezione soggettiva della resistenza offerta dall'osso durante la preparazione del sito implantare. Sono stati distinti quattro tipi principali:

- Tipo 1: osso omogeneo, molto compatto, costituito quasi esclusivamente da corticale (tipico della sinfisi mandibolare e delle mandibole fortemente atrofizzate);
- Tipo 2: osso corticale compatto con porzione trabecolare densa (caratteristico del corpo mandibolare);
- Tipo 3: corticale sottile con trabecolato interno denso (frequente nella pre-maxilla);
- Tipo 4: corticale sottile con trabecole di bassa densità (tipico della regione tubolare mascellare).

Misch (1988) ha esteso e raffinato questo approccio, proponendo una classificazione della densità ossea applicabile all'intero distretto cranio-facciale, basata sulle caratteristiche microstrutturali di corticale e spongiosa:

- **D1:** osso corticale molto denso, con scarsa componente spongiosa;
- **D2:** corticale spessa e spongiosa a maglie strette;
- **D3:** corticale sottile con spongiosa ancora a maglie relativamente strette;
- **D4:** corticale sottile con spongiosa a maglie larghe, poco densa;
- **D5:** osso immaturo, demineralizzato.

L'osso D1 si osserva prevalentemente nella mandibola anteriore e nei casi di marcata atrofia. Pur garantendo una notevole resistenza meccanica, presenta una vascolarizzazione limitata, con conseguente rallentamento dei processi rigenerativi e maggior rischio di necrosi da surriscaldamento durante la preparazione del sito implantare. La densità D2 rappresenta la condizione più favorevole dal punto di vista implantare: è comune nel corpo mandibolare e nella regione frontale del mascellare, offre buona stabilità primaria e adeguato supporto vascolare alla guarigione. L'osso D3 è frequente nel mascellare superiore, con caratteristiche simili a D2 ma con spongiosa meno vascolarizzata. La densità D4, tipica soprattutto del mascellare posteriore, è caratterizzata da scarsa compattezza e corticale molto sottile, con ridotta capacità di offrire stabilità primaria. In queste condizioni, le opzioni chirurgiche implantari e ricostruttive risultano più critiche. Il tipo D5 descrive osso immaturo, poco

mineralizzato, presente in quadri estremamente compromessi o in fase di rimodellamento.

La valutazione della densità ossea può essere resa più oggettiva tramite tomografia computerizzata, sfruttando software dedicati (ad esempio Denta-Scan, Maxi-Scan), che attribuiscono a ogni voxel un valore in Unità Hounsfield (HU). La scala HU va approssimativamente da -1500 (aria) a +2595, con valore 0 corrispondente alla densità dell'acqua. Le strutture ossee del massiccio facciale si collocano indicativamente tra +150 e +1500 HU, permettendo una stima quantitativa della densità ossea e una pianificazione implantare più accurata.

Classificazioni morfologiche delle atrofie

Accanto alle classificazioni basate sulla densità, sono state sviluppate classificazioni che considerano principalmente la morfologia della cresta residua, la quantità di osso disponibile nelle varie dimensioni e le relazioni con le strutture anatomiche nobili.

Una delle classificazioni più note è quella di **Seibert**, che inquadra i difetti in base alla dimensione prevalente di perdita:

- **Classe I:** deficit trasversale (ipo-alveolia orizzontale);
- **Classe II:** deficit verticale;
- **Classe III:** difetto combinato verticale e orizzontale.

Questa classificazione è utile nella descrizione del tipo di difetto, ma non considera parametri cruciali come qualità dell'osso residuo, rapporti intermascellari, limitanti anatomiche e sede specifica del difetto, elementi indispensabili per definire l'approccio ricostruttivo più adeguato.

Misch e Judy (1987) hanno proposto un sistema più articolato, che descrive l'**osso disponibile (OD)** in base a:

- altezza (dalla cresta al pavimento del seno o al canale mandibolare),
- spessore/ampiezza (distanza tra corticale vestibolare e linguale/palatale a livello della cresta),

- larghezza mesio-distale,
- angolo di inserimento implantare rispetto all'asse delle forze occlusali,
- rapporto corona/impianto (C/I).

Sulla base di questi parametri vengono definite quattro divisioni principali:

- **Divisione A:** osso abbondante in tutte le dimensioni (altezza $\geq 10-12$ mm, spessore ≥ 5 mm, larghezza ≥ 5 mm), rapporto C/I < 1 e possibilità di angolazione implantare fino a circa 30° .
- **Divisione B:** iniziale riassorbimento centripeto con riduzione dello spessore (2,5–5 mm), altezza ancora $\geq 10-12$ mm e larghezza aumentata (≥ 15 mm) per mantenere un adeguato rapporto osso-impianto; l'angolazione ammessa si riduce a circa 20° , con C/I che dovrebbe restare < 1 . È prevista la sottodivisione **Bw** per creste con spessore compreso tra 2,5 e 3,5 mm.
- **Divisione C:** atrofia da moderata ad avanzata, con **osso insufficiente** in una o più dimensioni (spessore $< 2,5$ mm e/o altezza < 8 mm). Si distinguono le sottoclassi **Cw** (ampiezza insufficiente) e **Ch** (altezza insufficiente).
- **Divisione D:** grave atrofia con quasi completa scomparsa del processo alveolare e coinvolgimento dell'osso basale. Il mascellare appare appiattito, la mandibola assume l'aspetto "a matita", con accentuata superficializzazione delle strutture neurovascolari e delle inserzioni muscolari.

Dal punto di vista clinico, questa classificazione consente di correlare in modo diretto tipo di atrofia, possibilità di inserimento implantare e necessità di procedure di aumento osseo.

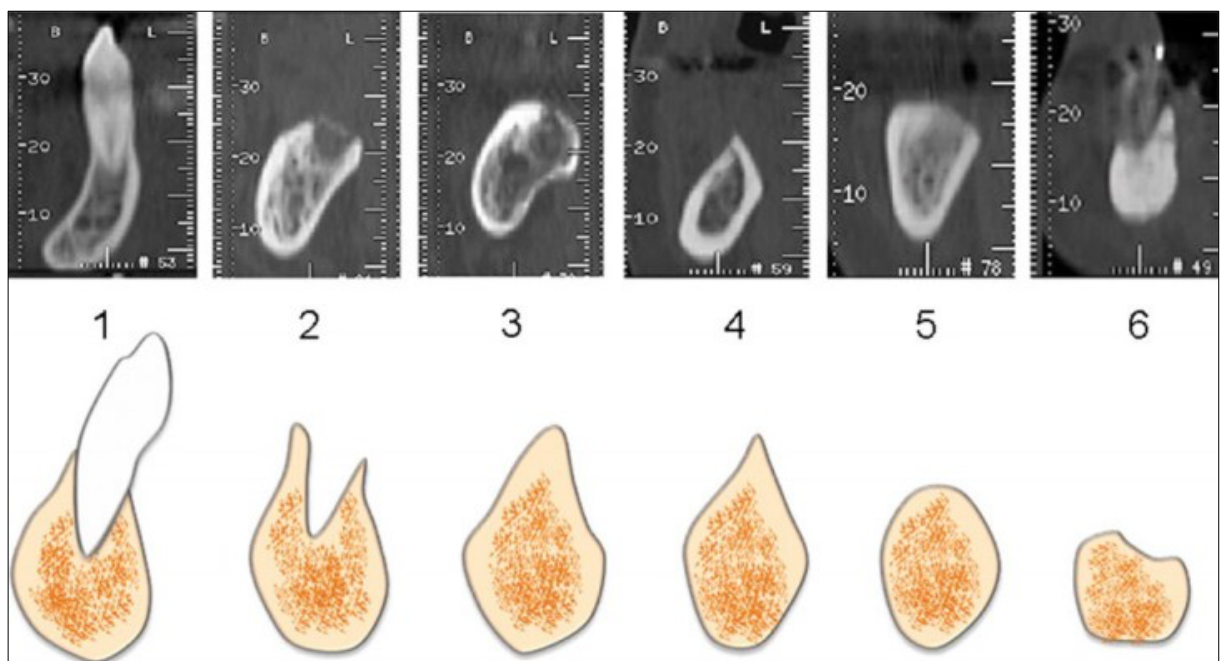
Un'altra classificazione ampiamente citata è quella di **Cawood e Howell (1988)**, basata sull'analisi morfologica di 300 crani edentuli. Gli autori hanno distinto:

- Classe I: dentatura presente;
- Classe II: cresta post-estrattiva immediata;
- Classe III: cresta post-estrattiva tardiva, con processi di ri-ossificazione e volume ancora adeguato in altezza e spessore;

- Classe IV: cresta con altezza sufficiente ma spessore ridotto, a profilo “a lama di coltello”;
- Classe V: cresta piatta, inadeguata sia in altezza che in spessore;
- Classe VI (solo per la mandibola): cresta depressa, con atrofia estesa anche all’osso basale.

Questa classificazione descrive in maniera intuitiva la progressione del riassorbimento, dal quadro post-estrattivo iniziale fino alle forme avanzate in cui la cresta risulta fortemente appiattita o depressa. È importante sottolineare che, all’interno dello stesso mascellare, possono coesistere segmenti con gradi diversi di atrofia.

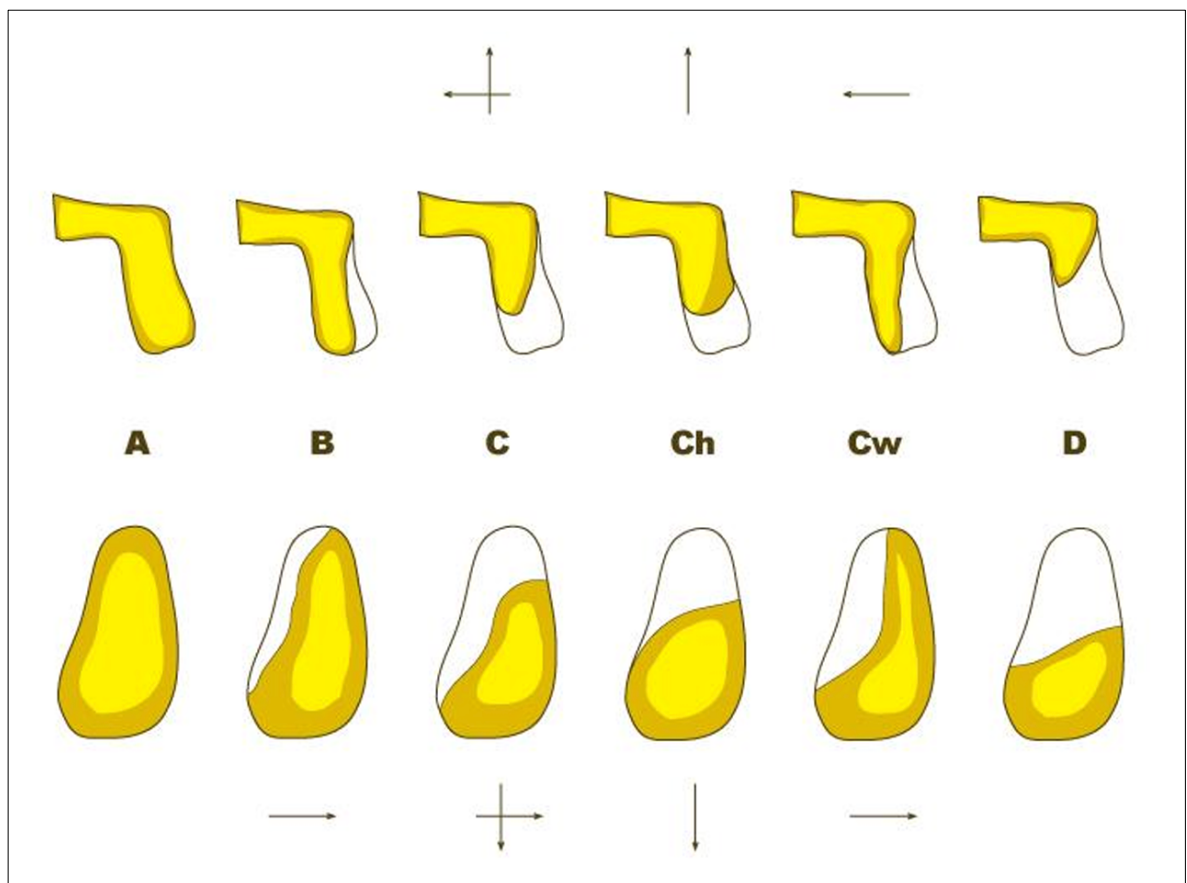
Figura 1. Rappresentazione schematica della classificazione di Cawood e Howell (1988)



La classificazione di **Misch-von Arx (1998)** introduce una sintesi morfologica ulteriore, distinguendo:

- **Classe A:** ampiezza >5 mm, assenza o lieve riassorbimento verticale;
- **Classe B:** ampiezza 2,5–5 mm, assenza o lieve riassorbimento verticale;
- **Classe C:**
 - **C-H:** altezza <5 mm, con moderato/avanzato riassorbimento verticale;
 - **C-W:** ampiezza <2,5 mm con altezza relativamente preservata;
- **Classe D:** severa atrofia, con marcato riassorbimento verticale e orizzontale.

Figura 2. Rappresentazione schematica della classificazione di Misch e Von Arx (1988)



Nel **2008**, **Chiapasco** ha introdotto una classificazione delle atrofie del mascellare superiore basata su altezza e spessore della cresta residua, integrate con la distanza inter-arcata, con l'obiettivo di orientare la scelta dell'approccio chirurgico ricostruttivo.

- Classe A – Altezza 4–8 mm, spessore ≤ 5 mm, distanza inter-arcata normale.
Indicata l'elevazione del seno mascellare per via laterale o trans-alveolare.
- Classe B – Altezza 4–8 mm, spessore < 5 mm, distanza normale.
Necessaria elevazione del seno con approccio laterale e incremento orizzontale mediante innesti o GBR.
- Classe C – Altezza < 4 mm, spessore ≥ 5 mm, distanza normale.
Trattamento raccomandato: elevazione del seno con accesso laterale.
- Classe D – Altezza < 4 mm, spessore < 5 mm, distanza normale.
Approccio: elevazione del seno laterale + innesti vestibolari e/o GBR per aumentare lo spessore.
- Classe E – Condizioni ossee della classe A ma distanza inter-arcata aumentata.
Indicati innesti di apposizione verticali e/o GBR per ripristinare la corretta relazione intermascellare.
- Classe F – Come classe B, ma con distanza inter-arcata aumentata.
Elevazione del seno laterale e ricostruzione verticale e trasversale mediante innesti di apposizione; GBR utilizzabile con cautela.
- Classe G – Come classe C, ma con distanza inter-arcata aumentata.
Elevazione del seno laterale + innesti verticali autologhi.
- Classe H – Come classe D, con distanza inter-arcata aumentata.
Necessari elevazione del seno laterale + innesti verticali e trasversali; GBR poco indicata.

3.3 Valutazione preoperatoria: ruolo dell'imaging

La pianificazione implantare richiede un'analisi diagnostica accurata, e l'imaging radiologico rappresenta uno strumento essenziale per valutare la morfologia della cresta, il volume osseo residuo e i rapporti con le strutture anatomiche critiche. L'introduzione della cone beam computed tomography (CBCT) ha permesso di ottenere una rappresentazione tridimensionale affidabile del distretto maxillo-mandibolare con una dose radiante inferiore rispetto alla TAC convenzionale (Hatcher et al., 2003). L'imaging 2D, pur utile come approccio preliminare, presenta limitazioni dovute a distorsioni, ingrandimenti e sovrapposizioni anatomiche, che possono compromettere la valutazione reale del sito implantare (Jacobs et al., 2014). La CBCT consente invece

misurazioni lineari precise, una visualizzazione accurata della cresta ossea e una migliore identificazione delle strutture anatomiche potenzialmente a rischio, come il canale mandibolare o il pavimento del seno mascellare (Bornstein et al., 2014).

La CBCT permette una valutazione tridimensionale dello spessore crestale, elemento fondamentale per la prevenzione di fenestrazioni e deiscenze, soprattutto nella premaxilla, dove lo spessore vestibolare è spesso inferiore a 1 mm (Temple et al., 2016). Questa informazione è cruciale anche ai fini della decisione tra inserimento immediato, differito o pianificazione di una GBR.

Analisi quantitativa e densità ossea

La possibilità di ottenere misurazioni affidabili dell'altezza e dello spessore osseo rende la CBCT il metodo di elezione per la valutazione volumetrica preoperatoria (Jacobs et al., 2014). Sebbene i valori grayscale non siano perfettamente equiparabili alle Unità Hounsfield della TAC medica, la densità rilevata tramite CBCT mostra una correlazione con la stabilità primaria dell'impianto, influenzando torque di inserimento e valori ISQ (Turkyilmaz et al., 2009). La CBCT consente inoltre di valutare eventuali concavità sottocrestali o aree di osso particolarmente sottile, difficili da identificare con imaging bidimensionale e frequenti soprattutto nel mascellare.

Identificazione delle strutture anatomiche critiche

L'analisi tridimensionale permette un'identificazione più accurata delle varianti anatomiche, riducendo il rischio di complicanze intraoperatorie.

La CBCT migliora:

- il riconoscimento del decorso del nervo alveolare inferiore e delle sue varianti (Jacobs et al., 2014);
- la valutazione del forame mentoniero e delle sue eventuali duplicazioni o bifidità (Scarfe & Farman, 2008);
- l'assessment del seno mascellare, incluse pneumatizzazioni e spessori della corticale basale (Bornstein et al., 2014).

Limiti e indicazioni all'uso

L'impiego della CBCT deve rispettare il principio ALARA/ALADA (SedentexCT, 2012). Sebbene l'esame offra informazioni tridimensionali superiori, la sua indicazione è giustificata solo quando il 2D non è sufficiente per una corretta diagnosi o quando l'esame tridimensionale può modificare la decisione terapeutica. È importante ricordare che la CBCT non permette una valutazione affidabile dei tessuti molli. Lo spessore mucoso, la presenza di frenuli, la qualità del biotipo e le condizioni parodontali devono essere valutate clinicamente (Bornstein et al., 2014).

3.4 Indicazioni terapeutiche alternative alla rigenerazione ossea guidata (GBR)

La GBR rappresenta oggi una delle tecniche più consolidate per la gestione dei difetti alveolari, ma non costituisce l'unica opzione terapeutica disponibile. Esistono infatti diverse alternative chirurgiche in grado di offrire soluzioni predicibili in presenza di atrofie di varia entità, modulabili in base alla morfologia residua, alla quantità di osso disponibile, alla complessità del caso e agli obiettivi riabilitativi. Tra queste, assumono particolare rilevanza la possibilità di utilizzare impianti corti o inclinati (tilted), gli innesti ossei autologhi, il rialzo del seno mascellare, l'osteodistrazione e la split crest.

Impianti corti

Gli impianti corti (≤ 6 mm) rappresentano un'opzione terapeutica consolidata nei casi di ridotta altezza ossea, soprattutto nelle regioni posteriori di mascella e mandibola, evitando procedure rigenerative più invasive come la GBR verticale o il rialzo del seno mascellare (Sahrmann et al., 2023; Naenni et al., 2018). La prevedibilità clinica di questi dispositivi è stata confermata da molteplici studi a lungo termine, che mostrano tassi di sopravvivenza comparabili a quelli degli impianti standard quando vengono utilizzati in siti adeguatamente selezionati (Sahrmann et al., 2023). Gli impianti corti riducono significativamente: durata del trattamento, morbidità chirurgica, eventi avversi e complicanze post-operatorie, costi biologici e finanziari per il paziente (Naenni et al., 2018).

Sono indicati soprattutto quando:

- l'altezza residua è limitata al di sopra del nervo alveolare inferiore,
- la pneumatizzazione del seno mascellare riduce lo spazio verticale,
- non si desidera o non è possibile eseguire rialzo del seno o ricostruzioni verticali.

Il limite principale riguarda l'esigenza di un'ampiezza crestale sufficiente e la necessità di controllare attentamente i carichi occlusali, poiché un rapporto corona-impianto aumentato può rappresentare un fattore biomeccanico critico se gestito in modo improprio (Sahrmann et al., 2016).

Impianti inclinati (tilted implants)

Gli impianti inclinati costituiscono una strategia terapeutica efficace per evitare strutture anatomiche nobili, come:

- seno mascellare,
- nervo alveolare inferiore,
- pareti sottili o irregolari in regioni atrofiche.

L'inclinazione dell'impianto consente di sfruttare osso residuo più denso e maggiormente rappresentato, riducendo la necessità di aumenti ossei verticali e rendendo possibile un ancoraggio stabile anche in condizioni anatomiche complesse (Aparicio et al., 2001; Del fabbro et al., 2012). Questa tecnica è ampiamente utilizzata nei protocolli "full-arch" (come il concetto All-on-4), ma trova applicazione anche in casi parziali (Malò et al., 2019).

Vantaggi documentati:

- riduzione dell'invasività chirurgica,
- minor tasso di complicanze rispetto alle procedure rigenerative avanzate,
- possibilità di carico immediato in casi selezionati,
- ottimizzazione della distribuzione biomeccanica delle forze.

L'inclinazione implantare non compromette la sopravvivenza a lungo termine quando viene mantenuta una connessione protesica precisa e stabile. Tuttavia richiede una pianificazione accurata, spesso guidata da CBCT e software di implantologia digitale.

Innesti autologhi

Gli innesti ossei autologhi rappresentano una valida alternativa alla GBR nei casi in cui il volume del processo alveolare risulti insufficiente per il corretto posizionamento implantare. Permettono di ricostruire creste atrofiche sia in senso orizzontale che verticale attraverso l'apposizione di blocchi cortico-midollari prelevati da sedi intraorali o extraorali (Khoury & Doliveux 2018). La versatilità della tecnica consente di modellare l'innesto in base al difetto da correggere: i blocchi possono avere dimensioni variabili, ma lunghezza e larghezza superiori a 1–1,5 cm tendono a ridurre la facilità di adattamento. Lo spessore corticale dell'innesto, ideale tra 3 e 5 mm, è un fattore determinante per la stabilità del risultato, poiché riduce il rischio di riassorbimento precoce. Quest'ultimo è infatti influenzato da numerosi elementi: microarchitettura ossea (rapporto corticale/midollare), anatomia della sede ricevente, qualità dei tessuti molli e trazioni muscolari, oltre che dalla zona anatomica (mascella o mandibola, anteriorità o posteriorità).

Gli innesti possono essere applicati secondo quattro modalità principali:

- Onlay orizzontale, con il blocco fissato vestibolarmente senza oltrepassare l'osso basale;
- Onlay verticale, con apposizione coronale del blocco per aumentare l'altezza;
- Onlay a J, che consente un incremento combinato orizzontale e verticale grazie alla conformazione tridimensionale del segmento;
- Inlay, che prevede l'interposizione del blocco tra due tavolati ossei.

In alcune zone possono essere necessari innesti ibridi o interventi sequenziali per ottenere aumenti più estesi. L'osteointegrazione degli impianti avviene in una seconda fase chirurgica dopo la maturazione dell'innesto (Barone et al., 2017).

Rialzo del seno mascellare

Il rialzo del seno mascellare è una delle tecniche più utilizzate per correggere la perdita di volume verticale nel mascellare posteriore. Si distingue in due approcci principali: laterale e transcrestale.

- *L'approccio laterale*, originariamente sviluppato da Tatum nel 1976 modificando la tecnica di Caldwell–Luc, consente una visualizzazione diretta della membrana schneideriana tramite la creazione di una finestra ossea laterale. L'innalzamento della membrana permette di inserire materiali da innesto nello spazio creato. L'inserimento implantare può essere simultaneo o differito, generalmente di 6 mesi. Boyne e James hanno poi standardizzato la procedura in due fasi.
- *L'approccio transcrestale*, perfezionato da Summers nel 1994 mediante osteotomi dedicati, consente di sollevare la membrana fratturando delicatamente il pavimento del seno attraverso la cresta alveolare. È una tecnica meno invasiva e generalmente meno dolorosa, ma viene considerata “cieca”, poiché non permette la visualizzazione diretta della membrana, aumentando il rischio di perforazioni.

In generale:

- Approccio crestale consigliato quando l'altezza residua è ≥ 5 mm.
- Approccio laterale indicato quando l'altezza residua è < 5 mm.

Osteodistrazione

L'osteodistrazione rappresenta un'alternativa biologicamente favorevole alla rigenerazione verticale, basata sul principio fisiologico secondo cui lo spazio progressivamente ampliato tra due segmenti ossei osteotomizzati viene spontaneamente colonizzato da coagulo, cellule osteoblastiche e nuova matrice ossea. Il processo si articola in tre fasi: osteotomia segmentaria, applicazione del distrattore e successiva fase di attivazione dopo circa una settimana, con avanzamento quotidiano di 0,5–1 mm. Al termine della distrazione, il callo osseo necessita di un periodo di consolidamento di circa quattro mesi. Gli incrementi ottenibili possono essere significativi (fino a 15–20 mm verticali) senza l'impiego di innesti. Nonostante il potenziale elevato, la tecnica

trova applicazione limitata in implantologia per la complessità del protocollo, la variabilità dei risultati e la scarsità di evidenze solide (Chiapasco, Romeo, Vogel 2001).

Split Crest

La split crest è una tecnica indicata per aumentare lo spessore delle creste sottili senza ricorrere a GBR o innesti in blocco. Prevede la separazione delle due corticali alveolari tramite strumenti rotanti, microseghe o piezochirurgia, seguita dalla frattura “a legno verde” della corticale vestibolare e dal suo spostamento verso l'esterno. Il lembo deve essere disegnato con scollamento a tutto spessore solo in cresta, continuando a mezzo spessore vestibolarmente per preservare la vascolarizzazione del segmento (Simion, Baldoni & Zaffe, 1992). L'espansione viene ottenuta mediante scalpelli, cunei o con l'inserimento stesso degli impianti che fungono da espansori. Il gap tra le corticali può essere lasciato guarire spontaneamente o colmato con biomateriali riassorbibili.

I limiti principali comprendono:

- necessità di uno strato di spongiosa tra le corticali (non eseguibile in creste estremamente sottili),
- rischio di frattura completa della corticale vestibolare,
- modifica dell'inclinazione della cresta e conseguenza protesiche,
- aumento del tempo di osteointegrazione per la minore stabilità primaria.

La tecnica trova indicazione soprattutto nelle atrofie moderate (Waechter et al., 2017).

CAPITOLO 4

Rigenerazione ossea guidata (GBR)

4.1 Biologia della rigenerazione

La rigenerazione ossea guidata (Guided Bone Regeneration, GBR) nasce dall'adattamento in ambito implantare dei principi biologici della rigenerazione tissutale guidata (GTR), introdotti originariamente in parodontologia negli anni '80. L'idea centrale è che la rigenerazione dell'osso alveolare sia possibile solo quando il coagulo, la matrice di fibrina e le cellule osteoprogenitrici vengono protetti dall'invasione dei tessuti molli, consentendo al processo biologico di evolvere in maniera ordinata e priva di interferenze. (Dahlin, Linde, Gottlow, & Nyman, 1988).

Il successo della GBR si fonda su **tre principi biologici fondamentali**:

1. Stabilità del coagulo

Il coagulo di fibrina rappresenta il primo e indispensabile “scaffolding biologico” per l'arrivo delle cellule osteoprogenitrici. La sua integrità deve essere protetta da micromovimenti, compressioni o collassi dei tessuti molli. Studi sperimentali hanno dimostrato che la stabilità del coagulo influenza direttamente la qualità dell'osso neoformato: un coagulo disturbato tende a trasformarsi in tessuto fibroso piuttosto che in osso lamellare.

2. Mantenimento dello spazio rigenerativo

La GBR necessita della creazione e del mantenimento di uno spazio protetto, capace di accogliere il coagulo, la neovascolarizzazione e le cellule osteogeniche. Le membrane o i dispositivi rigidi hanno proprio questa funzione: impedire il collasso dei tessuti molli e preservare un volume tridimensionale favorevole alla neoformazione ossea.

3. Esclusione cellulare

L'epitelio e il tessuto connettivo gengivale presentano un tasso proliferativo molto più rapido rispetto all'osso. Senza una barriera selettiva, tali tessuti colonizzerebbero lo spazio rigenerativo, ostacolando la formazione ossea. Le membrane – sia riassorbibili sia non riassorbibili – funzionano da barriera che

permette la colonizzazione dello spazio da parte di cellule ossee provenienti dall'osso nativo e dal midollo.

Fasi biologiche della rigenerazione

Secondo la descrizione aggiornata di Buser et al., il processo rigenerativo si articola in fasi cronologiche:

- Formazione del coagulo (0–24 h): deposito di fibrina ricca di fattori di crescita e piastrine.
- Inizio della vascolarizzazione (2–7 giorni): capillari e cellule mesenchimali migrano nello spazio protetto.
- Formazione di osso woven (4–6 settimane): tessuto osseo immaturo, caratterizzato da scarsa organizzazione.
- Maturazione e rimodellamento (3–6 mesi e oltre): trasformazione in osso lamellare più resistente.

4.2 Indicazioni per la GBR orizzontale

Le indicazioni principali per la GBR orizzontale riguardano difetti che determinano un'inadeguata dimensione vestibolo-linguale della cresta e che, senza ricostruzione, renderebbero impossibile ottenere un'adeguata stabilità peri-implantare e un posizionamento dell'impianto corretto rispetto al restauro definitivo. Le condizioni che giustificano l'impiego di una GBR orizzontale includono:

- **Difetti orizzontali moderati o severi**, con assenza o marcato assottigliamento della corticale vestibolare.
- **Deiscenze e fenestrazioni** che si manifestano durante o dopo il posizionamento implantare.
- **Cresta sottile con spessore buccale <1 mm**, situazione che aumenta il rischio di riassorbimenti precoci e compromette la stabilità dei tessuti duri e molli.
- **Mantenimento o ripristino del profilo alveolare** in aree estetiche o funzionali, dove il supporto osseo buccale è determinante per il risultato estetico.
- **Siti con biotipo sottile**, nei quali la presenza di un adeguato spessore osseo

Il trattamento mira a conseguire:

- Uno spessore osseo vestibolare ≥ 2 mm, considerato un requisito per la stabilità dei tessuti peri-implantari e per ridurre la probabilità di riassorbimento a medio-lungo termine.
- La possibilità di posizionare l'impianto in sede protesicamente guidata, anche in presenza di creste insufficienti.
- La prevenzione del collasso dei tessuti molli, con conseguente miglioramento dell'estetica e della maturazione dei tessuti peri-implantari.

La letteratura mostra che la GBR orizzontale simultanea all'inserimento implantare è predicibile e supportata da un'ampia quantità di dati clinici. La revisione sistematica di Thoma et al. (2019) analizza 28 studi clinici e documenta che:

- Il difetto osseo orizzontale medio al baseline era di 5.1 mm, ridotto a 0.9 mm alla riapertura, con una media di risoluzione dell'81.3% del difetto.
- Le procedure che combinano una membrana barriera con un materiale da innesto sono quelle più efficaci nella correzione dei difetti.
- L'assenza di trattamento nei difetti minori comporta una maggiore perdita ossea vestibolare rispetto ai siti trattati.
- Le procedure simultanee sono le più documentate e presentano elevate percentuali di successo clinico, con tassi di sopravvivenza implantare superiori al 97% nei primi 12–18 mesi di follow-up.
- Le membrane riassorbibili associate a innesti xenogeni rappresentano il protocollo più utilizzato e riportato nella letteratura clinica, grazie alla bassa morbilità e alla capacità di mantenere lo spazio in modo prevedibile.

La scelta tra procedura simultanea o in due fasi dipende principalmente dalla stabilità primaria ottenibile al momento del posizionamento implantare; dall'entità del difetto: i difetti moderati sono generalmente trattabili in simultanea; nei difetti più estesi, soprattutto quando si associa un importante deficit di volume, può essere preferita una GBR staged; e dalla qualità dell'osso residuo e rischio chirurgico valutato caso per caso. Nella pratica clinica, la procedura simultanea rappresenta la scelta più frequente, in quanto permette di ridurre tempi e fasi chirurgiche senza comprometterne la predicibilità, soprattutto nei settori posteriori.

4.3 Panoramica dei biomateriali nella GBR

La rigenerazione dei difetti ossei nel distretto maxillo-facciale richiede materiali in grado di garantire stabilità volumetrica, osteoconduzione e una guarigione prevedibile nel tempo (Mizraji et al., 2023). Le strategie rigenerative attuali si fondano sulla combinazione di tre elementi principali:

1. biomateriali da riempimento,
2. barriere/membrane,
3. tecnologie bioattive o bioingegnerizzate.

La selezione del materiale dipende da diversi fattori: tipo di difetto (verticale/orizzontale), volume richiesto, stabilità del coagulo, comportamento biologico atteso, esigenza di mantenimento del volume nel tempo, livello di rischio del paziente e posizione funzionale/estetica (Sanz et al., 2019).

Biomateriali da innesto: caratteristiche, funzioni e differenze biologiche

I biomateriali utilizzati per la rigenerazione ossea presentano proprietà differenti di osteoconduzione, osteoinduzione, riassorbimento e integrazione con il tessuto osseo neoformato.

Osso autologo

Considerato il gold standard per la capacità di offrire:

- cellule vitali osteogeniche,
- fattori di crescita osteoinduttivi,
- matrice tridimensionale osteoconduttiva.

Può essere prelevato intraoralmente (mento, branca mandibolare) o extraoralmente. Il principale limite è la necessità di una seconda area chirurgica con aumentata morbidità. Il riassorbimento, specie in innesti particellari, può risultare significativo; questo rende necessaria una stabilizzazione accurata e spesso l'utilizzo combinato con osso eterologo a lento riassorbimento per mantenere il volume nel tempo.

Osso omologo (allograft)

Disponibile in forma:

- freeze-dried bone allograft (FDBA): riassorbimento lento;
- demineralized freeze-dried bone allograft (DFDBA): riassorbimento più rapido, maggiore esposizione delle proteine morfogenetiche (BMP).

L'allograft ha dimostrato buona osteoconduzione e potenziale osteoinduttivo (variabile), senza necessità di una seconda sede chirurgica. Tuttavia, mantiene una variabilità biologica legata al processo di donazione, sterilizzazione e demineralizzazione.

Osso eterologo (xenograft)

È il biomateriale più utilizzato nelle procedure di GBR implantare grazie a:

- elevata stabilità volumetrica,
- riassorbimento estremamente lento,
- mantenimento dell'architettura mineralizzata originaria (come nel caso dell'osso bovino deproteinizzato).

Queste caratteristiche consentono la creazione di volumi prevedibili, soprattutto nelle ricostruzioni orizzontali o nei casi estetici. Il materiale funge da scaffold osteoconduttivo, mentre l'osso neoformato colonizza progressivamente gli spazi intergranulari.

Materiali sintetici (alloplasti)

Materiali come idrossiapatite sintetica, β -TCP, o loro combinazioni presentano:

- totale biocompatibilità,
- assenza di rischio infettivo,
- geometria e porosità controllabili.

Il β -TCP è riassorbibile e sostituito da osso nuovo; l'idrossiapatite sintetica presenta maggiore stabilità e minore riassorbimento. La combinazione HA + β -TCP permette un compromesso tra stabilità e turnover biologico.

Materiali ibridi e scaffolds ingegnerizzati

Materiali compositi formati da:

- matrici collageniche,
- granuli minerali,
- fattori bioattivi integrati,

- polimeri riassorbibili.

Questi sistemi sono sviluppati per modulare tempi di riassorbimento e stimolare una rigenerazione più fisiologica e controllata.

Tecnologie bioattive nella rigenerazione

Proteine morfogenetiche ossee (BMP)

La BMP-2 è la molecola più studiata e utilizzata.

Funzioni:

- promuove differenziazione osteoblastica,
- stimola la formazione ossea anche in spazi non completamente contenitivi,
- accelera la riparazione.

Tuttavia, richiede carrier specifici (collagene) e può generare reazioni infiammatorie dose-dipendenti.

Nel distretto orale trova indicazione soprattutto nelle creste atrofiche di grado severo e nei rialzi di seno mascellare.

PRF, PRP e derivati plasmatici

I concentrati piastrinici forniscono:

- fattori di crescita endogeni (PDGF, TGF- β , VEGF),
- miglioramento della vascolarizzazione del sito,
- accelerazione della maturazione del tessuto di rigenerazione.

Il PRF, grazie alla matrice fibrinica tridimensionale, permette un rilascio prolungato dei fattori di crescita e può essere utilizzato come membrana supplementare o come additivo del biomateriale.

Membrane e barriere: caratteristiche, funzioni e differenze biologiche

Membrane non riassorbibili

PTFE espanso (e-PTFE)

Le membrane in e-PTFE sono state tra le prime utilizzate nella GBR e rappresentano un riferimento storico per la rigenerazione ossea guidata. La loro struttura microporosa

offre una buona capacità di isolamento cellulare e garantisce un'efficace barriera durante la fase iniziale della guarigione. La rigidità moderata consente un discreto mantenimento dello spazio nei difetti non autosostenuti, rendendole adatte a difetti orizzontali moderati. Tuttavia, l'alta porosità le rende vulnerabili alla contaminazione batterica in caso di esposizione (rischio 8-20%), condizione che può compromettere il risultato rigenerativo. Poiché non sono riassorbibili, richiedono sempre un secondo intervento per la rimozione.

Caratteristiche principali:

- Struttura microporosa (5–20 μm)
- Elevata stabilità dimensionale
- Necessità di rimozione chirurgica programmata

PTFE denso (d-PTFE)

Le membrane in d-PTFE sono progettate per limitare la comunicazione tra l'ambiente orale e il difetto chirurgico anche quando l'esposizione avviene precocemente. La superficie a porosità quasi nulla impedisce l'adesione batterica, rendendo possibile la guarigione secondaria anche in caso di esposizione. Ciò le differenzia nettamente dall'e-PTFE e le rende una soluzione più sicura nei casi in cui la chiusura primaria sia difficile da ottenere. La loro flessibilità, tuttavia, è inferiore rispetto alle versioni rinforzate, e il mantenimento dello spazio è più limitato.

Caratteristiche principali:

- Porosità estremamente ridotta ($<0,3 \mu\text{m}$)
- Resistente alla contaminazione batterica
- Rimozione chirurgica necessaria

Membrane rinforzate con titanio (titanium-reinforced PTFE)

Le membrane in PTFE rinforzate con una griglia in titanio offrono la massima stabilità strutturale tra le membrane non riassorbibili. La presenza del rinforzo conferisce rigidità, permettendo di mantenere ampi volumi in difetti severi o non autosostenuti, come ampie atrofie orizzontali. Sono particolarmente indicate nelle ricostruzioni tridimensionali, dove il mantenimento dello spazio è critico. Tuttavia, l'aumentata rigidità le rende più difficili da

adattare e aumenta il rischio di esposizione. Essendo non riassorbibili, richiedono una rimozione con un secondo intervento.

Caratteristiche principali:

- PTFE associato a rete di titanio
- Massima capacità di mantenimento dello spazio
- Maggior rischio di esposizione

Tabella 1. Biomateriali da innesto con caratteristiche comparate.

Biomateriale	Origine	Proprietà biologiche	Riassorbimento	Vantaggi	Limiti	Indicazioni principali
Osso autologo	Paziente (intra/extraorale)	Osteogenico, osteoinduttivo, osteoconduttivo	Variabile; rapido nei particolari	Massima capacità rigenerativa; integrazione ideale	Morbidità del sito donatore; riassorbimento imprevedibile	Difetti contenuti o combinazione con xenograft per stabilità
Allograft (FDBA/DFDBA)	Umano (donatore)	Osteoconduttivo, potenzialmente osteoinduttivo (DFDBA)	Intermedio (FDBA lento; DFDBA più rapido)	Nessun sito donatore; buona integrazione	Variabilità biologica; potenziale riassorbimento	Ricostruzioni moderate, supporto volumetrico senza necessità di prelievo
Xenograft (Bio-Oss)	Bovino deproteinizzato	Osteoconduttivo	Molto lento / quasi non riassorbibile	Massima stabilità volumetrica; scaffold predicibile	Non osteoinduttivo; persistenza a lungo termine	GBR orizzontale, difetti estetici, mantenimento del profilo buccale
Alloplastici (HA, β-TCP, HA+TCP)	Sintetici	Osteoconduttivi	TCP rapido, HA lento	Biocompatibili, controllabili, nessun rischio di malattie	Minor prevedibilità rispetto agli xenograft; resistenza variabile	Piccoli difetti, combinazioni, siti con buona vascolarità
Compositi bioingegnerizzati	Sintetici + collagene / polimeri	Combinano osteoconduzione e bioattività	Programmabile in base al materiale	Adattabilità, rilascio fattori, supporto fisiologico	Evidenze cliniche ancora limitate	Difetti moderati; utilizzo combinato con membrane
BMP-2 (con carrier)	Bioattivo (ricombinante)	Fortemente osteoinduttivo	Dipende dal carrier	Induce osso anche in difetti non contenuti	Potenziata infiammazione; controllo del volume difficoltoso	Atrofie severe, casi selezionati

PRF / PRP	Autologo (sangue)	Fattori di crescita, pro-angiogenico	Fisiologico	Facilita vascolarizzazione e maturazione	Non mantiene spazio; non sostituisce un graft	Supporto alla GBR, copertura membrana, riempimento minimo
------------------	----------------------	---	-------------	--	--	---

Membrane riassorbibili di origine naturale

Collagene non cross-linkato

Le membrane in collagene non reticolato sono le più utilizzate nella pratica clinica per GBR orizzontale. Il collagene garantisce eccellente maneggevolezza, integrazione tissutale e basso rischio di complicanze anche in caso di esposizione. Il riassorbimento relativamente rapido rende il collagene non cross-linkato ideale per difetti orizzontali moderati e per procedure simultaneous con inserimento implantare. Nonostante una stabilità meccanica limitata, la loro biocompatibilità e capacità di favorire la vascolarizzazione del coagulo ne fanno lo standard per molte applicazioni.

Caratteristiche principali:

- Derivazione suina/bovina
- Riassorbimento in 8–12 settimane
- Ottima integrazione dei tessuti molli

Collagene cross-linkato

Il collagene reticolato presenta una stabilità superiore rispetto a quello non cross-linkato grazie al processo di reticolazione chimica o fisica. Tale modifica rallenta la degradazione, permettendo alla membrana di svolgere più a lungo la funzione di barriera. È utile nei difetti più ampi o dove il rischio di perdita di volume è maggiore. Tuttavia, una reticolazione eccessiva può ridurre la biocompatibilità e aumentare la risposta infiammatoria, motivo per cui gli attuali prodotti commerciali regolano attentamente il grado di cross-linking.

Caratteristiche principali:

- Degradazione rallentata (4–6 mesi)
- Resistenza meccanica aumentata
- Potenziale reattività infiammatoria moderatamente superiore

Membrane amnion-chorion

Le membrane di origine placentare combinano proprietà di barriera con una ricca dotazione di molecole bioattive, tra cui fattori di crescita e componenti della matrice extracellulare. Sono molto sottili, altamente adattabili e naturalmente antimicrobiche. La loro azione è particolarmente utile nei siti in cui la qualità dei tessuti molli è prioritaria. Tuttavia, la scarsa rigidità le rende poco adatte a difetti che richiedono il mantenimento di uno spazio rigenerativo significativo.

Caratteristiche principali:

- Altamente bioattive (ricche di fattori di crescita)
- Proprietà antimicrobiche e pro-angiogeniche
- Scarsa rigidità e stabilità meccanica

Membrane riassorbibili sintetiche

PLA / PLGA (acido polilattico e copolimeri lattico-glicolico)

Queste membrane sintetiche permettono di modulare la durata della barriera grazie alla possibilità di variare la proporzione dei monomeri. Offrono maggiore resistenza meccanica rispetto al collagene e sono indicate in difetti che richiedono un supporto più prolungato. Tuttavia, la degradazione genera acidi che possono irritare i tessuti, con un potenziale rischio di infiammazione locale. L'integrazione tissutale non raggiunge i livelli delle membrane di collagene, ma la prevedibilità della degradazione le rende utili in determinate circostanze.

Caratteristiche principali:

- Stabilità modulabile
- Durata della barriera 3–12 mesi
- Rilascio di sottoprodotti acidi durante la degradazione

Policaprolattone (PCL)

Il PCL è un materiale sintetico molto stabile, caratterizzato da un lento riassorbimento. La lunga durata e la buona rigidità offrono stabilità volumetrica superiore rispetto ad altri polimeri biodegradabili. Tuttavia, la sua natura idrofobica può limitare l'adesione cellulare e rallentare l'integrazione con i tessuti molli. Per questo motivo viene

impiegato più raramente e soprattutto nei casi in cui il mantenimento della forma sia essenziale.

Caratteristiche principali:

- Degradazione molto lenta (>12 mesi)
- Elevata stabilità volumetrica
- Integrazione tissutale limitata

Membrane polimerizzabili in situ (PEG e derivati)

Si tratta di materiali liquidi che induriscono direttamente nella sede chirurgica, aderendo perfettamente alla superficie del difetto. L'adattamento è eccellente, ma la resistenza meccanica limitata non consente di mantenere uno spazio rigenerativo da sola. Per questo trovano impiego principalmente come copertura secondaria o in difetti molto piccoli.

Caratteristiche principali:

- Adattamento ottimale alla superficie
- Polimerizzazione diretta sul difetto
- Stabilità meccanica insufficiente per difetti ampi

Polisaccaridi (chitosano, alginato)

I polisaccaridi sono materiali naturali con proprietà antibatteriche (soprattutto il chitosano) e buona compatibilità. Tuttavia, la loro stabilità meccanica e la resistenza al collasso sono inferiori rispetto alle membrane in collagene o ai polimeri sintetici più consolidati. A oggi questi materiali sono utilizzati prevalentemente in contesti sperimentali, con applicazioni cliniche ancora limitate.

Caratteristiche principali:

- Proprietà bioattive
- Biocompatibilità buona
- Stabilità meccanica insufficiente per difetti strutturati

Tecniche di stabilizzazione delle membrane:

- pin di titanio,
- viti da osteosintesi,

- sutura periostale,
- stretching passivo del lembo.

La stabilizzazione è cruciale per la predicibilità della GBR, poiché il movimento della membrana compromette lo sviluppo del tessuto rigenerato.

4.4 Complicanze comuni della GBR

Complicanze dei tessuti molli

Le complicanze a carico dei tessuti molli rappresentano la categoria più frequente e clinicamente rilevante nelle procedure di GBR. La ragione è legata al ruolo cruciale del lembo: esso deve garantire protezione del coagulo, isolamento dell'area rigenerativa e stabilità della membrana. Qualsiasi compromissione della sua integrità può influire direttamente sulla qualità della rigenerazione ossea.

La complicanza più comune è la deiscenza del lembo, che può manifestarsi già nei primi giorni post-operatori o comparire progressivamente nelle settimane successive. La prevalenza aumenta proporzionalmente all'estensione del difetto trattato e al grado di avanzamento richiesto dal lembo per ottenere la chiusura primaria. Un biotipo sottile (<1 mm) o la presenza di scarsa cheratinizzazione aumentano ulteriormente il rischio. Edema e tensione residua possono causare perdita di stabilità delle suture e apertura progressiva della linea di incisione.

La necrosi superficiale del lembo rappresenta un'altra complicanza ben documentata, spesso limitata al margine incisale del lembo avanzato. Può derivare da un'eccessiva liberazione periostale, da traumi durante la dissezione o semplicemente da un flusso sanguigno inadeguato a causa della tensione tissutale. Sebbene normalmente limitata e reversibile, la necrosi può evolvere in deiscenza franca e favorire exposure della membrana sottostante.

Le complicanze infettive, come ascessi, suppurazione o fistole, sono generalmente secondarie a deiscenze e contaminazione batterica della membrana o del graft. Se non trattate tempestivamente, possono condurre a mobilizzazione del materiale da innesto e alla perdita completa della rigenerazione. Altre manifestazioni includono edema marcato, sanguinamento, ematomi, riduzione della profondità vestibolare per effetto dell'avanzamento coronale del lembo, e riduzione della quantità di tessuto

cheratinizzato. In alcuni casi si osservano aderenze fibrose, cicatrici e alterazioni morfologiche permanenti della mucosa.

Complicanze dei tessuti duri

Le complicanze a carico del compartimento osseo riguardano principalmente i difetti non contenitivi, nei quali il mantenimento dello spazio è più difficile e dipende dalla stabilità della membrana e dell'eventuale sistema di fissazione.

La mancata integrazione del graft con l'osso nativo è una complicanza rilevante ma spesso silente, identificabile soltanto al momento dell'inserimento dell'impianto. Può derivare da carenza di apporto vascolare nelle porzioni più profonde del volume rigenerato o da instabilità della membrana durante la guarigione. In alcuni casi, l'intero blocco di osso neoformato può mobilizzarsi durante l'osteotomia implantare.

Ulteriori complicanze comprendono la perdita di materiale da innesto, l'infezione ossea, la persistenza di difetti residui, la presenza di particelle non integrate e, nei casi più severi, fenomeni necrotici (Tay et al., 2022).

Esposizione della membrana e impatto sul bone gain

Anche in presenza di una tecnica chirurgica corretta, può comparire una deiscenza dei tessuti molli che lascia la membrana esposta al cavo orale, favorendo la contaminazione batterica e potenzialmente compromettendo il processo rigenerativo. Questo rischio aumenta quando la membrana viene utilizzata in associazione a biomateriali, poiché la colonizzazione microbica può determinare un incremento dell'incidenza di infezioni.

La letteratura mostra che l'esposizione può verificarsi con qualsiasi tipologia di membrana, sia riassorbibile che non riassorbibile. Diversi studi riportano un tasso complessivo di esposizione intorno al 23%. Le membrane cross-linkate presentano percentuali ancora più elevate: il rischio di esposizione risulta infatti circa del 50% superiore rispetto alle membrane non cross-linkate. In un'analisi condotta su procedure di GBR orizzontale, è stato calcolato un rischio relativo di esposizione pari a 1,43, senza differenze statisticamente significative tra membrane riassorbibili e non riassorbibili.

Anche le complicanze più generali dei tessuti molli, che comprendono la stessa esposizione, la deiscenza e le infezioni, si attestano su valori simili, con un'incidenza complessiva attorno al 16,8%. Una revisione sistematica ha confermato che la deiscenza

del lembo, con conseguente esposizione della membrana, costituisce la complicanza più comune. Tale fenomeno è stato osservato nel 16,3% degli impianti trattati con membrane in collagene e in percentuali comprese tra l'11,1% e il 24,4% quando si utilizzano membrane in e-PTFE.

L'impatto dell'esposizione sul risultato rigenerativo è stato oggetto di diverse analisi. In una metanalisi dedicata alla GBR laterale, le creste che non presentavano esposizione mostravano un guadagno osseo superiore del 76,2% rispetto ai siti complicati. Nei difetti peri-implantari trattati con GBR, l'assenza di esposizione era associata a una riduzione del difetto maggiore del 27,2%. È interessante notare che l'esposizione delle membrane riassorbibili tende a ridurre significativamente il guadagno osseo, mentre l'esposizione delle membrane non riassorbibili sembra avere un impatto meno prevedibile e non sempre significativo, probabilmente a causa dell'elevata variabilità dei risultati riportati negli studi disponibili.

Le evidenze mostrano inoltre che, nelle procedure di GBR orizzontale, il tipo di membrana non influisce in modo sostanziale sulla frequenza delle complicanze, mentre nella GBR verticale l'esposizione — anche in assenza di suppurazione — riduce comunque il guadagno osseo. In questi casi il rapporto tra i mezzi (RoM) del guadagno verticale scende a 0,65 rispetto a una guarigione priva di complicanze (Mizraji et al., 2023).

Complicanze neurologiche

Le manipolazioni chirurgiche estese necessarie nelle GBR — in particolare dissezione, rilascio periostale e fissazione della membrana — espongono a un rischio di irritazione o lesione dei nervi periferici. Il mentale, l'infraorbitario e il linguale sono i più frequentemente coinvolti. Il paziente può riferire parestesie, alterazioni della sensibilità, dolore spontaneo o al tatto, o iperestesia. Sebbene nella maggior parte dei casi tali manifestazioni siano transitorie, un trauma più marcato può determinare sintomi persistenti. Anche la compressione indiretta, ad esempio da edema o da contatto con particelle di graft, può generare disturbi neurosensoriali (Tay et al., 2022).

Complicanze funzionali ed estetiche

Dal punto di vista funzionale, la fase post-operatoria può essere caratterizzata da limitazione dell'apertura orale, difficoltà masticatorie e fonetiche, dolore significativo e difficoltà nell'uso di protesi provvisorie rimovibili. Tali effetti derivano dall'estensione della chirurgia, dalla tensione dei tessuti e dall'ingombro del volume rigenerato. A livello estetico, complicanze quali riduzione della profondità vestibolare, migrazione coronale della linea mucogengivale, perdita di tessuto cheratinizzato o alterazioni del profilo dei tessuti molli peri-implantari possono influenzare il risultato finale anche in presenza di un esito osseo soddisfacente. Compromissioni estetiche particolarmente rilevanti si osservano nei settori anteriori, dove piccoli difetti possono risultare clinicamente significativi.

Tabella 2 – Principali complicanze della Guided Bone Regeneration (GBR).

Categoria	Complicanza	Descrizione clinica	Frequenza riportata	Impatto sul risultato rigenerativo	Note rilevanti
Tessuti molli	Wound dehiscence (deiscenza del lembo)	Apertura precoce del lembo con esposizione del sito rigenerativo; spesso localizzata in area crestale.	16–24% dei casi complessivi	Può esporre la membrana; aumento del rischio di infezione e riduzione del guadagno osseo.	Più frequente con difetti ampi e flaps molto avanzati.
	Esposizione della membrana	La membrana diventa visibile nel cavo orale per perdita della copertura mucosa.	≈23% complessivo; fino al +50% con membrane cross-linkate	Riduzione del guadagno osseo fino al –76% nei siti esposti; nei difetti peri-implantari –27,2% di riduzione del difetto.	Impatto più sfavorevole per membrane riassorbibili (resorb faster when exposed).
	Infezione / ascesso	Suppurazione, dolore, rigonfiamento dei tessuti; contaminazione	10–17%	Può richiedere rimozione anticipata della membrana o del graft; compromette la rigenerazione.	Più frequente con membrane non riassorbibili esposte.

		del biomateriale.			
	Flap necrosis	Areole di necrosi marginale, spesso nelle zone di maggiore tensione.	Non sistematicamente quantificata, ma comune nei casi ampi	Può procedere verso esposizione del graft o perdita di keratinized tissue.	Legata a ischemia da flap advancement e trauma chirurgico.
	Edema, ematoma, ecchimosi	Gonfiore marcato, sanguinamenti interni, ecchimosi tissutali.	Molto comune nelle prime 1–2 settimane	Possibile aumento della tensione sui lembi, predisponendo alla deiscenza.	Peggiorati da graft voluminosi e tecnica invasiva.
	Riduzione della banda di tessuto cheratinizzato	Perdita o assottigliamento della KT dopo la guarigione.	Frequente dopo flap advancement	Può predisporre a recessioni e irritazioni croniche.	Maggiore rischio nei biotipi sottili.
Tessuti duri	Rigenerazione ossea insufficiente	Volume rigenerato inadeguato rispetto alla pianificazione.	Non facilmente quantificabile; più comune nei difetti combinati (verticale + orizzontale)	Necessità di rigenerazioni aggiuntive o limitazioni nel posizionamento implantare.	Spesso correlata a mobilità del graft o problemi di angiogenesi.
	Perdita o migrazione del graft	Dislocamento delle particelle, collasso dello spazio.	Più frequente quando si perdono stabilità della membrana o fissazioni	Compromissione marcata del volume ottenibile.	Collegata a membrane non adeguatamente fissate o tenting screws mobili.
	Esposizione di viti di fissazione / tenting screws	Evidenza clinica del dispositivo attraverso i tessuti molli.	Frequenza non standardizzata; più comune con lembi sottili	Può causare infezione locale o perdita del graft.	Spesso richiede rimozione anticipata.
Nervi / funzione	Parestesia / dolore persistente	Disturbi sensoriali per coinvolgimento	Rara ma documentata	Impatto funzionale, talvolta prolungato.	Legata a flap estesi o

		del mentale, infraorbitario o linguale.			perforazioni accidentali.
	Limitazioni funzionali (masticazione, fonazione, apertura orale)	Difficoltà temporanee post-operatorie, spesso per edema o dolore.	Frequenti nelle prime settimane	Disagio significativo per il paziente, ma senza effetti sulla rigenerazione.	Più marcate in GBR estese.
Estetica	Perdita di vestibolo / migrazione apicale della mucosa	Riduzione della profondità vestibolare e spostamento coronale della mucogengivale.	Comune nei lembi molto avanzati	Compromissione estetica e necessità di ulteriori procedure mucogengivali.	Maggiore rischio nelle aree anteriori.
Materiali	Reazioni da corpo estraneo	Granulomi, infiammazione cronica, reazioni immunologiche (rari).	<10% per alcuni allograft	Può determinare riassorbimento del graft o ritardo di guarigione.	Graft multi- donatore più a rischio.

CAPITOLO 5

Materiali e metodi

5.1 Disegno dello studio

La presente serie di casi è stata trattata tra Febbraio 2021 e Novembre 2022 nel rispetto dei principi della Dichiarazione di Helsinki (World Medical Association, 2013). Tutti i partecipanti sono stati informati in maniera completa sugli obiettivi e sulle procedure dello studio e hanno firmato il consenso informato prima dell'arruolamento. Lo studio è stato condotto in accordo con le raccomandazioni della dichiarazione STROBE per studi osservazionali caso-controllo (<http://www.strobe-statement.org>). (Von Elm et al., 2008)

5.2 Popolazione dello studio

Sono stati selezionati pazienti candidati al posizionamento di una corona singola su impianto o di una breve riabilitazione parzialmente edentula. I criteri di inclusione prevedevano:

- (i) presenza di un difetto orizzontale moderato della cresta che richiedesse GBR contestuale;
- (ii) posizionamento di impianti con collare transmucoso liscio e protocollo di guarigione transmucosa pianificato;
- (iii) raggiungimento di una stabilità primaria sufficiente per la guarigione one-stage (ISQ > 65);
- (iv) disponibilità di radiografie standardizzate al baseline e nei follow-up;
- (v) follow-up minimo di tre anni dall'inserimento implantare.

Sono stati esclusi i pazienti con necessità di procedure di aumento verticale o combinato, con condizioni sistemiche note per compromettere la guarigione, con infezione acuta nel sito implantare, fumatori di >10 sigarette/die, o portatori di impianti non conformi al protocollo dello studio.

Tabella 3. Criteri di inclusione e di esclusione dello studio.

Criteri di inclusione	Criteri di esclusione
Difetto orizzontale moderato	Necessità di GBR verticale o combinata
Impianti con collare liscio transmucoso	Condizioni sistemiche che compromettono la guarigione
Stabilità primaria adeguata (ISQ > 65)	Infezioni acute del sito implantare
Radiografie standardizzate disponibili	Fumo > 10 sigarette/die
Follow-up minimo ≥ 3 anni	Impianti non conformi al protocollo dello studio

5.3 Protocollo di trattamento

Tutti i pazienti hanno effettuato detartrasi, polishing e rinforzo motivazionale prima dell'intervento. Gli interventi sono stati eseguiti da due operatori esperti. Dopo anestesia locale, venivano elevati lembi mucoperiostei per esporre la cresta e il versante vestibolare della cresta alveolare. Se necessario, venivano eseguite incisioni di rilascio verticali per migliorare l'accesso o ottenere una chiusura del lembo senza tensioni. Gli impianti (Thommen Medical, Grenchen, Svizzera; Element RC, superficie Inicell) venivano inseriti in posizioni protesicamente guidate seguendo la sequenza di fresaggio raccomandata dal produttore. I diametri variavano da 3,5 a 5,0 mm e le lunghezze da 8 a 12,5 mm, selezionati in base alle esigenze anatomiche e protesiche. La stabilità primaria veniva valutata mediante analisi della frequenza di risonanza (ISQ), per confermare l'idoneità all'approccio one-stage.

In caso di deiscenza o di fenestrazione vestibolare, è stata eseguita una rigenerazione contestuale. Il difetto è stato riempito con osso bovino deproteinizzato (Bio-Oss® Spongiosa Granules, Geistlich Pharma) e coperto con una membrana in collagene nativo (Bio-Gide®, Geistlich Pharma AG). La membrana è stata estesa oltre i margini del difetto su osso integro e adattata attorno al collare implantare. In base alla stabilità intraoperatoria, la membrana è stata mantenuta in posizione mediante semplice adattamento passivo oppure fissata con pin in titanio (Omnia®, Fidenza, Italia). Durante l'intervento è stato connesso un abutment di guarigione di 2–3 mm, selezionato in funzione dello spessore dei tessuti molli, e la membrana ulteriormente stabilizzata attorno ad esso. Il lembo è stato riposizionato per consentire la guarigione trans mucosa, assicurando una chiusura priva di tensione. Non sono utilizzate protesi provvisorie durante la fase di guarigione. Ai pazienti sono stati prescritti antibiotici due volte al giorno per 6 giorni, a partire dal giorno precedente l'intervento, e veniva raccomandato un collutorio a base di clorexidina 0,12% (Curasept®, Curaden Healthcare, Svizzera) due volte al giorno fino alla rimozione delle suture, effettuata dopo 10 giorni. Per il controllo del dolore era consentita l'assunzione di ibuprofene 600 mg (Brufen®, AbbVie S.r.l., Campoverde di Aprilia, Italia) al bisogno.

5.4 Esami al baseline e ai follow-up

Per lo studio, il baseline (BL) è stato definito come il momento della consegna della corona protesica, provvisoria o definitiva. Tutti i pazienti sono stati sottoposti a valutazione clinica e radiografica al baseline, a 6 mesi, a 1 anno dalla consegna e successivamente con controlli annuali. Ai fini dell'analisi, sono stati considerati solo i dati relativi al follow-up minimo di tre anni (FU-3), ritenuti più rappresentativi della stabilità peri-implantare a lungo termine.

La valutazione radiografica di ciascuna radiografia endorale è stata eseguita da un esaminatore indipendente, non coinvolto nelle procedure chirurgiche o protesiche. I valori sono stati confrontati con quelli del baseline e le differenze registrate come variazione del livello osseo. Le sedute di mantenimento sono state programmate individualmente, di norma ogni 3–6 mesi, in funzione delle condizioni parodontali e della collaborazione del paziente.

5.5 Outcomes del trattamento

Outcome primario

L'esito primario era rappresentato dalle variazioni del livello osseo marginale tra baseline e follow-up ≥ 3 anni. Radiografie endorali standardizzate sono state acquisite al baseline (consegna della corona) e al follow-up ≥ 3 anni con tecnica long-cone paralleling supportata da posizionatori per sensori digitali.

I livelli ossei marginali sono stati misurati valutando la distanza tra la spalla implantare e il primo contatto osso-impianto (fBIC) sui lati mesiale e distale. Per l'analisi è stata utilizzata la media tra i due valori. Le misurazioni sono state effettuate con ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA), calibrando le immagini sulla base della distanza inter-spira nota dell'impianto (1 mm) per correggere eventuali distorsioni radiografiche.

Outcome secondari

I parametri clinici sono stati rilevati mediante sonda parodontale manuale UNC-15 (Hu-Friedy, Chicago, USA) e registrati al millimetro più vicino. I seguenti parametri sono stati registrati in sei siti per impianto (mesiovestibolare, centro vestibolare, distovestibolare, distolinguale, centro linguale, mesiolinguale) al baseline e dopo 12 mesi:

- profondità di sondaggio (PD)
- indice di placca (PI)
- sanguinamento al sondaggio (BOP)
- tessuto cheratinizzato (KT)

Le condizioni peri-implantari sono state classificate secondo il workshop del 2017 sulla classificazione delle malattie e condizioni parodontali e peri-implantari (Papapanou et al., 2018). La mucosite peri-implantare veniva diagnosticata in presenza di sanguinamento e/o suppurazione al sondaggio in assenza di perdita ossea radiografica oltre il rimodellamento iniziale. La perimplantite veniva diagnosticata in presenza di sanguinamento e/o suppurazione al sondaggio, aumento della PD rispetto alle visite precedenti, perdita ossea ≥ 2 mm oltre il rimodellamento iniziale e PD ≥ 6 mm.

L'estetica dei tessuti molli peri-implantari è stata valutata mediante Pink Esthetic Score (PES), da parte di un esaminatore in cieco appositamente calibrato. Il PES considera sette parametri, ciascuno con punteggio 0–2, per un massimo di 14 punti. Un sottoinsieme di casi è stato rivalutato dopo un mese per verificare la riproducibilità delle misurazioni. Sono state eseguite fotografie cliniche standardizzate.

5.6 Sopravvivenza implantare

La sopravvivenza implantare è stata definita come assenza di mobilità, dolore persistente, suppurazione o radiotrasparenze radiografiche. Eventuali complicanze biologiche e meccaniche sono state documentate per l'intero periodo di osservazione. La mobilità è stata valutata manualmente. Tutti gli eventi avversi sono stati registrati.

5.7 Analisi statistica

Le statistiche descrittive sono state calcolate a livello dell'impianto. La normalità delle variabili continue è stata valutata con il test di Shapiro–Wilk. Le variazioni tra baseline e follow-up ≥ 3 anni sono state analizzate con t-test appaiati o test di Wilcoxon per ranghi con segno, in base alla distribuzione dei dati. I confronti tra impianti con o senza pin di fissazione della membrana sono stati esplorati mediante test di Wilcoxon rank-sum per le variabili continue e test esatto di Fisher per le variabili categoriali.

L'influenza del diametro implantare sulle variazioni del livello osseo è stata valutata tramite test di Kruskal–Wallis e correlazione di Spearman. La sopravvivenza implantare è stata espressa come proporzione con intervalli di confidenza esatti al 95%. Tutte le analisi sono state considerate esplorative in ragione della limitata numerosità campionaria.

Figura 1. Sequenza clinica e radiografica di un sito posteriore (#36) trattato con GBR simultanea e guarigione transmucosa attorno a un impianto con collarino liscio: (a) Vista vestibolare al baseline, (b) vista occlusale e (c) vista obliqua della cresta edentula che mostra una concavità orizzontale; (d) radiografia periapicale pre-operatoria; (e) vista vestibolare dopo il sollevamento del lembo a tutto spessore e il posizionamento dell'impianto in una posizione protesicamente guidata; (f) GBR con osso bovino deproteinizzato e adattamento di una membrana in collagene attorno al collarino transmucoso; (g) vista vestibolare e (h) vista occlusale del lembo suturato attorno alla vite di guarigione e (i) vista obliqua che mostra il profilo vestibolare ricostruito e la configurazione della guarigione transmucosa; (j) radiografia periapicale post-operatoria.

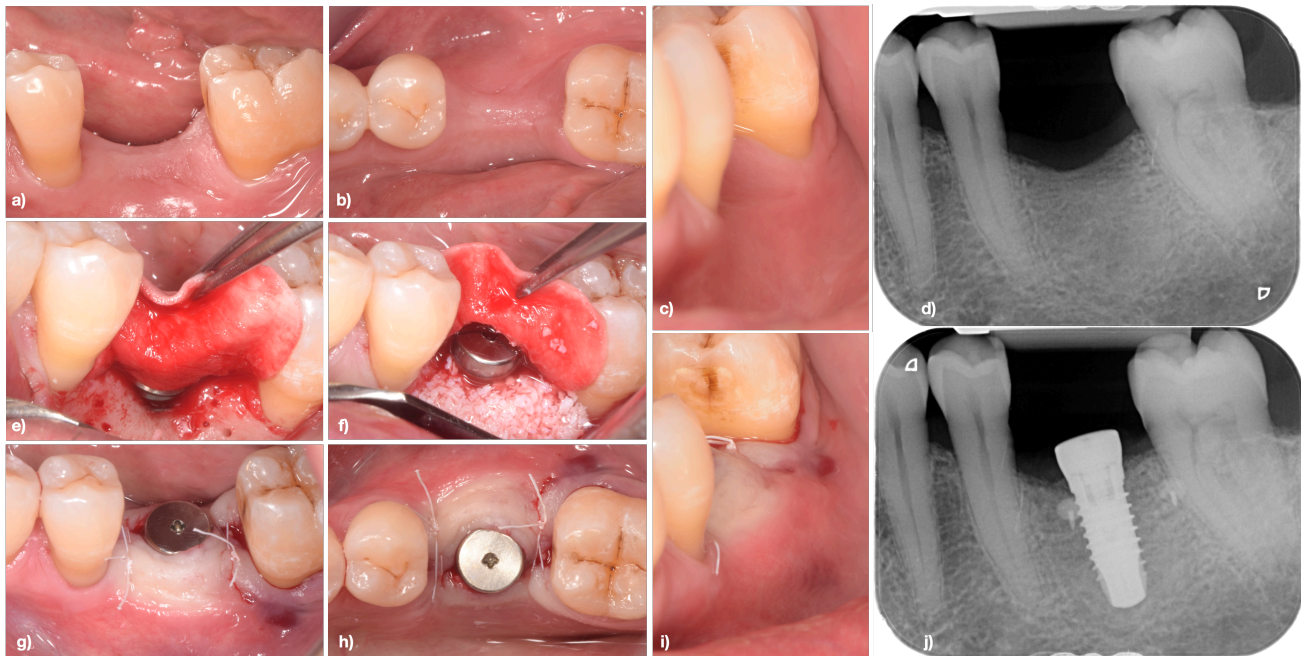


Figura 2. Immagini cliniche e radiografiche al baseline (consegna della corona) e al follow-up a 3 anni di un caso rappresentativo: (a) Radiografia periapicale immediatamente dopo la consegna della corona protesica; (b) Vista vestibolare al baseline che mostra il profilo dei tessuti molli peri-implantari attorno alla corona definitiva; (c) Radiografia periapicale al follow-up di 3 anni; (d) Vista vestibolare al follow-up di 3 anni che evidenzia condizioni mucose peri-implantari stabili; (e) Vista obliqua al follow-up di 3 anni con maturazione dei tessuti molli e integrazione armoniosa della riabilitazione.

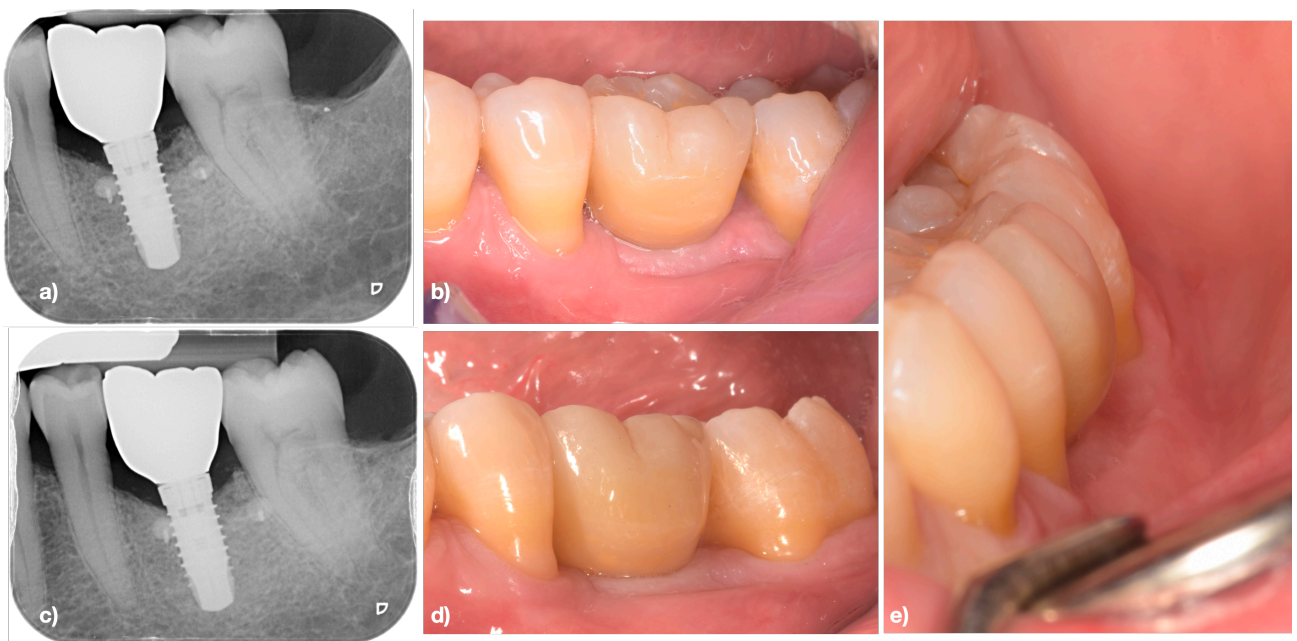


Figura 3. Misurazioni del marginal bone level (MBL) eseguite tramite ImageJ.



CAPITOLO 6

Risultati

6.1 Caratteristiche demografiche e dati al baseline

Venti pazienti sono stati inclusi nella serie di casi (12 uomini e 8 donne; età media 57.2 ± 11.42 , range 36-73). Un paziente ha ricevuto 2 impianti associati a GBR e guarigione transmurale, gli altri pazienti hanno ricevuto un singolo impianto. Due pazienti erano fumatori. La distribuzione degli impianti per posizione, diametro e lunghezza è riportata nella Tabella 4. La fissazione della membrana con pin in titanio è stata necessaria in 12 dei 20 siti (60%), mentre nei rimanenti casi è stata adottata una stabilizzazione passiva.

6.2 Marginal bone level (MBL)

La valutazione radiografica ha mostrato livelli ossei peri-implantari sostanzialmente stabili dal momento della consegna della protesi al follow-up a 3 anni. I valori medi mesiali, distali e complessivi di MBL sono riportati come misurazioni assolute nella Tabella 5.

Non sono state osservate differenze statisticamente significative tra baseline e follow-up per i valori medi di MBL ($p > 0,05$). In particolare, il valore medio complessivo è passato da $1,10 \pm 0,56$ mm al baseline a $1,18 \pm 0,51$ mm al follow-up, mentre i valori mesiali e distali hanno mostrato variazioni minime nel tempo.

L'analisi delle variazioni (Δ MBL) ha confermato questa stabilità, con una variazione media complessiva pari a $-0,08 \pm 1,02$ mm, indicativa di un rimodellamento marginale limitato. Il versante distale ha mostrato una maggiore variabilità (Δ MBL medio: $-0,14 \pm 1,05$ mm) rispetto al versante mesiale (Δ MBL medio: $-0,02 \pm 0,98$ mm).

La distribuzione dei valori di Δ MBL ha ulteriormente supportato questa stabilità: il 50,0% degli impianti ($n = 10$) non ha mostrato perdita ossea o ha presentato un lieve guadagno coronale, il 45,0% ($n = 9$) ha mostrato una perdita ossea marginale <1 mm e un solo impianto (5,0%) ha presentato una variazione compresa tra 1,0 e 1,5 mm.

Nessun impianto ha mostrato una perdita ossea $\geq 1,5$ mm.

Non sono emerse differenze rilevanti tra il gruppo con fissazione della membrana mediante pin e quello senza pin, con valori medi di ΔMBL pari a $-0,10 \pm 1,05$ mm e $-0,05 \pm 0,98$ mm, rispettivamente. Tali risultati vanno comunque interpretati con cautela alla luce della ridotta numerosità campionaria.

6.3 Parametri clinici

Le condizioni cliniche sono rimaste stabili per l'intero periodo di osservazione (Tabella 6). La profondità di sondaggio (PD) non ha mostrato variazioni significative, passando da $2,86 \pm 0,38$ mm al baseline a $3,01 \pm 0,45$ mm al follow-up a 3 anni ($p = 0,134$). Anche il sanguinamento al sondaggio (BoP) è rimasto contenuto e non ha mostrato differenze significative nel tempo ($p = 0,615$). La larghezza del tessuto cheratinizzato (KT) è risultata stabile, con valori medi di $2,65 \pm 0,63$ mm al baseline e $2,78 \pm 0,60$ mm al follow-up ($p = 0,132$). Analogamente, la recessione dei tessuti molli (REC) è rimasta minima, senza variazioni significative (baseline: $0,02 \pm 0,07$ mm; 3 anni: $0,03 \pm 0,12$ mm; $p = 0,593$). Il plaque control record (PCR) ha mostrato un incremento statisticamente significativo nel tempo (da $0,05 \pm 0,11$ a $0,18 \pm 0,20$; $p = 0,013$), pur rimanendo su valori complessivamente contenuti. L'estetica dei tessuti molli, valutata mediante il punteggio PES, ha evidenziato un miglioramento statisticamente significativo, passando da $10,40 \pm 1,79$ al baseline a $11,90 \pm 1,80$ al follow-up a 3 anni ($p = 0,0009$), suggerendo una progressiva maturazione dei tessuti peri-implantari.

6.4 Sopravvivenza implantare

Nessun impianto è andato perso durante i 3 anni di osservazione e non sono stati rilevati casi di perimplantite. Nel corso del follow-up si sono verificati due episodi di mucosite peri-implantare, entrambi risolti con trattamento non chirurgico. Tutti gli impianti sono risultati funzionali e clinicamente stabili alla valutazione a 3 anni, senza nessuna perdita.

Tabella 4. Distribuzione degli impianti e numero per diametro e lunghezza.

Implant	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	Total
n (maxilla)	2	2	4		2			1				1	20
n (mandible)	4		1					1				2	
Implant	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	
Length (mm)	8		9.5			11				12.5			
n	1		6			5				8			20
Diameter (mm)	3.5 mm		4 mm			4.5 mm				5 mm			
n	4		8			1				7			20

Tabella 5. Marginal Bone Level (MBL) radiografico al baseline (consegna protesi) e ai 3 anni di follow-up.

	Total	Mean	SD	Min.	1. Quartile	Median	3. Quartile	Max.
MBL baseline (mm)								
Mesial	20	1.13	0.60	0.00	0.64	1.35	1.60	2.10
Distal	20	1.7	0.56	0.00	0.63	1.14	1.54	1.85
Total	20	1.10	0.56	0.00	0.63	1.32	1.55	1.95
MBL FU-3 (mm)								
Mesial	20	1.15	0.50	0.53	0.81	1.07	1.36	2.19
Distal	20	1.21	0.57	0.42	0.76	1.14	1.56	2.50
Total	20	1.18	0.51	0.58	0.75	1.01	1.39	2.31
ΔMBL (mm)								
Mesial	20	- 0.02	0.98	0.77	- 0.42	0.08	0.30	- 1.26
Distal	20	- 0.14	1.05	0.62	- 0.47	- 0.09	0.26	- 1.01
Total	20	- 0.08	1.02	0.70	- 0.42	- 0.01	0,16	- 1.03

Tabella 6. Cambiamenti dei parametri clinici ed estetici peri-implantari nel corso dei 3 anni di follow-up.

Clinical Outcome	Time Point	Total (n=20)	p-value
PD (mm)	BL	2.86 ± 0.38	0.134 (NS)
	FU-3	3.01 ± 0.45	
	Δ (FU-3 – BL)	+0.15 ± 0.27	
PCR (0 – 3)	BL	0.05 ± 0.11	0.013*
	FU-3	0.18 ± 0.20	
	Δ (FU-3 – BL)	+0.13 ± 0.22	
BoP (%)	BL	0.08 ± 0.15	0.615 (NS)
	FU-3	+0.01 ± 0.16	
	Δ (FU-3 – BL)	-6 ± 15	
KT (mm)	BL	2.65 ± 0.63	0.132 (NS)
	FU-3	2.78 ± 0.60	
	Δ (FU-3 – BL)	+0.13 ± 0.37	
REC (mm)	BL	0.02 ± 0.07	0.593 (NS)
	FU-3	0.03 ± 0.12	
	Δ (FU-3 – BL)	+0.01 ± 0.13	
PES (0 -14)	BL	10.40 ± 1.79	0.0009*
	FU-3	11.90 ± 1.80	
	Δ (FU-3 – BL)	+1.50 ± 1.61	

CAPITOLO 7

DISCUSSIONE

Il presente case series ha valutato, dal punto di vista clinico e radiografico, il comportamento a medio termine di impianti con collare liscio inseriti con GBR orizzontale simultanea e lasciati a guarigione transmucosa per un periodo di 3 anni. I risultati hanno evidenziato diversi aspetti rilevanti:

- i livelli ossei peri-implantari sono rimasti stabili, con variazioni minime tra la consegna della protesi e il controllo a 3 anni e senza casi di perdita ossea rilevante;
- i parametri dei tessuti molli hanno mostrato condizioni di salute mantenute, con profondità di sondaggio stabili, limitato accumulo di placca, bassi valori di sanguinamento e recessioni trascurabili;
- la funzione implantare è stata conservata per tutto il periodo di osservazione, senza fallimenti né perimplantite e con soli due episodi reversibili di mucosite.

Dal punto di vista biologico, le evidenze precliniche hanno approfondito la risposta dei tessuti peri-implantari alle diverse modalità di guarigione. Studi su modelli animali hanno indagato i meccanismi che regolano il rimodellamento osseo marginale attorno a impianti guariti transmucosalmente o in modo sommerso (Hermann et al., 1997). È emerso che i livelli ossei crestali tendono a stabilizzarsi in relazione alla configurazione dell'interfaccia impianto–abutment e alla continuità del profilo transmucoso. Gli impianti con collare liscio e continuo hanno mostrato un rimodellamento iniziale limitato, mentre transizioni brusche di superficie o la presenza di un microgap sono state associate a una posizione più apicale della cresta ossea (Hermann et al., 1997).

Studi preclinici più recenti hanno valutato l'interazione tra modalità di guarigione e GBR (Park et al., 2024). In modelli animali con difetti standardizzati di deiscenza vestibolare trattati con GBR simultanea, la guarigione transmucosa ha prodotto esiti rigenerativi sovrapponibili a quelli dell'approccio sommerso. I siti lasciati a guarigione transmucosa hanno mostrato un grado di risoluzione del difetto, uno spessore osseo

vestibolare e un'estensione di tessuto mineralizzato simili a quelli dei siti sommersi quando veniva eseguita GBR, mentre entrambi i gruppi superavano i controlli non rigenerati (Park et al., 2024).

Dati clinici in studi sull'uomo supportano ulteriormente l'idea che la guarigione transmucosa possa essere integrata con successo in procedure rigenerative. In una coorte prospettica con follow-up a 12 mesi, il 41,7% degli impianti è stato inserito in siti sottoposti ad aumento orizzontale simultaneo e sono stati riportati livelli ossei marginali comparabili tra guarigione transmucosa e sommersa. I siti rigenerati non hanno mostrato una maggiore suscettibilità al rimodellamento crestale, suggerendo che la stabilità tissutale possa essere mantenuta anche quando gli impianti guariscono transmucosalmente dopo GBR (Hammerle et al., 2012). Sebbene riferiti a un periodo più breve, questi risultati sono coerenti con la stabilità radiografica e clinica osservata nel presente case series e indicano che, quando stabilità primaria e protezione dell'innesto sono garantite, la guarigione transmucosa offre esiti paragonabili alla guarigione sommersa senza compromettere il processo rigenerativo o la stabilità tissutale a lungo termine.

Un ulteriore aspetto clinico riguarda la decisione di lasciare l'impianto esposto durante la fase iniziale di guarigione. I protocolli transmucosi hanno suscitato tradizionalmente il timore che le forze trasmesse attraverso il moncone di guarigione potessero interferire con l'osteointegrazione, in particolare in siti rigenerati nei quali è richiesta una protezione del graft. Le evidenze sperimentali indicano che, in presenza di adeguata stabilità primaria, i micromovimenti rimangono al di sotto della soglia in grado di compromettere la formazione ossea (Szmukler-Moncler S, Salama H, Reingewirtz Y, Dubruille JH et al., 1998; Moustafa Ali RM, Alqutaibi AY, El-Din Gomaa AS, Abdallah MF, 2018). Nel presente case series, la stabilità primaria è stata garantita mediante criteri di inclusione che prevedevano valori sufficienti di torque e ISQ al momento del posizionamento. L'assenza di complicanze precoci e la stabilità dei livelli ossei marginali osservata a 3 anni sostengono l'ipotesi che la guarigione transmucosa non ostacoli l'osteointegrazione né la maturazione dei tessuti rigenerati.

Oltre agli aspetti biologici, vanno considerati anche i vantaggi clinici associati all'approccio one-stage. Il protocollo in un solo tempo riduce la durata complessiva del trattamento, poiché non è necessario un ulteriore periodo di guarigione dopo la connessione del pilastro (Esposito et al., 2019). L'assenza del secondo intervento chirurgico elimina il trauma legato a una nuova elevazione del lembo, riducendo il discomfort post-operatorio, il bisogno di analgesici e il rischio di infiammazione transitoria dei tessuti molli (Esposito et al., 2019; Wu et al., 2022).

I tessuti molli iniziano a maturare attorno al moncone di guarigione immediatamente dopo l'inserimento implantare, definendo il contorno mucoso peri-implantare prima del carico protesico (Molina et al., 2017). Il clinico può quindi procedere alle fasi protesiche senza attendere una stabilizzazione secondaria dei tessuti molli, e il paziente beneficia di un percorso terapeutico più lineare e con un numero inferiore di sedute (Molina et al., 2017). Dal punto di vista del paziente, evitare un secondo intervento chirurgico contribuisce a un'esperienza più favorevole, riducendo morbidità e impatto psicologico (Esposito et al., 2019; Wu et al., 2022). Nella presente case series, la stabilità dei tessuti molli peri-implantari e il progressivo miglioramento dei punteggi estetici riflettono la prevedibile maturazione che può avvenire quando si adotta la guarigione transmucosa.

Questo case series presenta alcune limitazioni da considerare nell'interpretazione dei risultati. La ridotta numerosità campionaria limita la potenza statistica e la capacità di identificare differenze sottili o predittori di cambiamenti clinici e radiografici. L'assenza di un gruppo di controllo con guarigione sommersa non consente un confronto diretto e limita la possibilità di attribuire gli esiti osservati in modo specifico all'approccio transmucoso. Le misurazioni radiografiche sono state eseguite su immagini endorali che, pur standardizzate, possono risentire di piccole differenze di angolazione. Inoltre, l'uniformità del sistema implantare e dei materiali rigenerativi, pur migliorando la coerenza interna, riduce la trasferibilità dei risultati ad altri design implantari o ad altri protocolli di aumento osseo. Infine, il periodo di follow-up, sebbene sufficiente per una valutazione a medio termine, non permette di cogliere pienamente le dinamiche tissutali a più lungo termine che potrebbero influenzare la stabilità dei siti rigenerati.

CAPITOLO 8

CONCLUSIONI

Nei limiti di questo case series, gli impianti con collare liscio posizionati con rigenerazione ossea guidata orizzontale simultanea e lasciati a guarigione transmucosa hanno mostrato livelli ossei marginali stabili e tessuti molli peri-implantari in buone condizioni per un periodo di tre anni. Il rimodellamento osseo radiografico è risultato minimo, i parametri clinici si sono mantenuti entro valori considerati fisiologici e i punteggi estetici sono migliorati nel tempo, indicando una progressiva maturazione della mucosa peri-implantare.

Questi risultati suggeriscono che, nei siti con difetto orizzontale moderato in cui sia possibile garantire un'adeguata stabilità primaria e una corretta protezione del materiale da innesto, un protocollo one-stage che combini GBR orizzontale e guarigione transmucosa rappresenta un'opzione terapeutica valida, con la possibilità di ridurre i tempi complessivi di trattamento ed evitare un secondo tempo chirurgico.

Future direzioni della ricerca

Saranno comunque necessari studi controllati su campioni più ampi, con follow-up più prolungato e confronto diretto con la guarigione sommersa, per confermare questi esiti e chiarire il ruolo delle variabili implantari e dei tessuti molli sulla stabilità a lungo termine dei siti rigenerati.

BIBLIOGRAFIA

- Albrektsson, T., Brånemark, P. I., Hansson, H. A., & Lindström, J. (1981). Osseointegrated titanium implants: Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 52(2), 155–170. <https://doi.org/10.3109/17453678108991776>
- Aparicio, C., Perales, P., & Rangert, B. (2001). Tilted implants as an alternative to maxillary sinus grafting: A clinical, radiologic, and periotest study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 3(1), 39–49. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2001.tb00127.x>
- Araújo, M. G., & Lindhe, J. (2005). Dimensional ridge alterations following tooth extraction: An experimental study in the dog. *Journal of Clinical Periodontology*, 32(2), 212–218. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2005.00642.x>
- Aslam, A., Hassan, S. H., Aslam, H. M., & Khan, D. A. (2019). Effect of platform switching on peri-implant bone: A 3D finite element analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 121(6), 935–940. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.08.011>
- Bain, C. A., & Moy, P. K. (1993). The association between the failure of dental implants and cigarette smoking. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 8(6), 609–615.
- Bamba, J., Araki, K., Endo, A., & Okano, T. (2013). Image quality assessment of three cone beam CT machines using the SEDENTEXCT CT phantom. *Dentomaxillofacial Radiology*, 42(8), 20120445. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20120445>

Balshi, T. J., & Wolfinger, G. J. (1999). Dental implants in the diabetic patient: A retrospective study. *Implant Dentistry*, 8(4), 355–359.

<https://doi.org/10.1097/00008505-199904000-00005>

Barone, A., Toti, P., Menchini-Fabris, G. B., Felice, P., Marchionni, S., & Covani, U. (2017). Early volumetric changes after vertical augmentation of the atrophic posterior mandible with interpositional block graft versus onlay bone graft: A retrospective radiological study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 45(9), 1438–1447. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2017.01.018>

Barrachina-Diez, J. M., Tashkandi, E., Stampf, S., & Att, W. (2013). Long-term outcome of one-piece implants. Part I: Implant characteristics and loading protocols. A systematic literature review with meta-analysis. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 28(2), 503–518.

<https://doi.org/10.11607/jomi.2790>

Baxter, J. C., & Fattore, L. (1993). Osteoporosis and osseointegration of implants. *Journal of Prosthodontics*, 2(2), 120–125. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.1993.tb00393.x>

Beikler, T., Peters, U., Prajane, S., Prior, K., Ehmke, B., & Flemmig, T. F. (2003). Prevalence of *Porphyromonas gingivalis* fimA genotypes in Caucasians. *European Journal of Oral Sciences*, 111(5), 390–394. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0722.2003.00065.x>

Berglundh, T., Lindhe, J., Ericsson, I., Marinello, C. P., Liljenberg, B., & Thomsen, P. (1991). The soft tissue barrier at implants and teeth. *Clinical Oral Implants Research*, 2(2), 81–90. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1991.020206.x>

Berglundh, T., Wellfelt, B., Liljenberg, B., & Lindhe, J. (2001). Some local and systemic immunological features of prepubertal periodontitis. *Journal of Clinical Periodontology*, 28(2), 113–120. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.2001.028002113.x>

Berglundh, T., Gotfredsen, K., Zitzmann, N. U., Lang, N. P., & Lindhe, J. (2007). Spontaneous progression of ligature-induced peri-implantitis at implants with different surface roughness: An experimental study in dogs. *Clinical Oral Implants Research*, 18(5), 655–661. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01397.x>

Bornstein, M. M., Scarfe, W. C., Vaughn, V. M., & Jacobs, R. (2014). Cone beam computed tomography in implant dentistry: A systematic review focusing on guidelines, indications, and radiation dose risks. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 29(Suppl), 55–77. <https://doi.org/10.11607/jomi.2014suppl.g1.4>

Brånemark, P. I., Hansson, B. O., Adell, R., Breine, U., Lindström, J., Hallén, O., & Ohman, A. (1977). Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw: Experience from a 10-year period. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*, 16(Suppl), 1–132.

Buser, D., Chappuis, V., Belser, U. C., & Chen, S. (2017). Implant placement post extraction in esthetic single-tooth sites: When immediate, when early, when late? *Periodontology 2000*, 73(1), 84–102. <https://doi.org/10.1111/prd.12170>

Buser, D., Urban, I., Monje, A., Kunrath, M. F., & Dahlin, C. (2023). Guided bone regeneration in implant dentistry: Basic principles, progress over 35 years, and recent research activities. *Periodontology 2000*, 93(1), 9–25. <https://doi.org/10.1111/prd.12539>

Cawood, J. I., & Howell, R. A. (1988). A classification of the edentulous jaws. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 17(4), 232–236. [https://doi.org/10.1016/S0901-5027\(88\)80047-X](https://doi.org/10.1016/S0901-5027(88)80047-X)

Chappuis, V., Bornstein, M. M., Buser, D., & Belser, U. (2016). Influence of implant neck design on facial bone crest dimensions in the esthetic zone analyzed by cone beam CT: A comparative study with a 5-to-9-year follow-up. *Clinical Oral Implants Research*, 27(9), 1055–1064. <https://doi.org/10.1111/clr.12692>

Chiapasco, M. (2002). *Manuale illustrato di chirurgia orale*. Masson.

Chiapasco, M., Romeo, E., & Vogel, G. (2001). Vertical distraction osteogenesis of edentulous ridges for improvement of oral implant positioning: A clinical report of preliminary results. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 16(1), 43–51.

Chiapasco, M., Zaniboni, M., & Rimondini, L. (2008). Dental implants placed in grafted maxillary sinuses: A retrospective analysis of clinical outcome according to the initial clinical situation and a proposal of defect classification. *Clinical Oral Implants Research*, 19(4), 416–428. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01489.x>

Christensen, D. K., Karoussis, I. K., Joss, A., Hämmerle, C. H., & Lang, N. P. (2003). Simultaneous or staged installation with guided bone augmentation of transmucosal titanium implants: A 3-year prospective cohort study. *Clinical Oral Implants Research*, 14(5), 680–686. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2003.140514.x>

Coulthard, P., Esposito, M., Worthington, H. V., & Jokstad, A. (2003). Therapeutic use of hyperbaric oxygen for irradiated dental implant patients: A systematic review. *Journal of Dental Education*, 67(1), 64–68.

Cordaro, L., Torsello, F., Chen, S., Ganeles, J., Brägger, U., & Hämmerle, C. (2013). Implant-supported single-tooth restoration in the aesthetic zone: Transmucosal and submerged healing provide similar outcomes when simultaneous bone augmentation is needed. *Clinical Oral Implants Research*, 24(10), 1130–1136. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02515.x>

Dahlin, C., Linde, A., Gottlow, J., & Nyman, S. (1988). Healing of bone defects by guided tissue regeneration. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 81(5), 672–676. <https://doi.org/10.1097/00006534-198805000-00004>

De Boever, A. L., & De Boever, J. A. (2005). Guided bone regeneration around non-submerged implants in narrow alveolar ridges: A prospective long-term clinical study. *Clinical Oral Implants Research*, 16(5), 549–556. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2005.01154.x>

Del Fabbro, M., Bellini, C. M., Romeo, D., & Francetti, L. (2012). Tilted implants for the rehabilitation of edentulous jaws: A systematic review. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14(4), 612–621. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2010.00288.x>

Degidi, M., Perrotti, V., Shibli, J. A., Novaes, A. B., Piattelli, A., & Iezzi, G. (2011). Equicrestal and subcrestal dental implants: A histologic and histomorphometric evaluation of nine retrieved human implants. *Journal of Periodontology*, 82(5), 708–715. <https://doi.org/10.1902/jop.2010.100450>

Dos Santos, M. V., Elias, C. N., & Cavalcanti Lima, J. H. (2011). The effects of superficial roughness and design on the primary stability of dental implants. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 13(3), 215–223. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2009.00202.x>

Ericsson, I., Johansson, C. B., Bystedt, H., & Norton, M. R. (1994). A histomorphometric evaluation of bone-to-implant contact on machine-prepared and roughened titanium dental implants: A pilot study in the dog. *Clinical Oral Implants Research*, 5(4), 202–206. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1994.050402.x>

Esposito, M., Hirsch, J. M., Lekholm, U., & Thomsen, P. (1998). Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants (II): Etiopathogenesis. *European Journal of Oral Sciences*, 106(3), 721–764. <https://doi.org/10.1046/j.0909-8836..t01-6-.x>

Esposito, M., Grusovin, M. G., Chew, Y. S., Coulthard, P., & Worthington, H. V. (2009). Interventions for replacing missing teeth: 1- versus 2-stage implant placement. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2009(3), CD006698. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006698.pub2>

Fürhauser, R., Florescu, D., Benesch, T., Haas, R., Mailath, G., & Watzek, G. (2005). Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: The pink esthetic score. *Clinical Oral Implants Research*, 16(6), 639–644. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2005.01193.x>

Hämmerle, C. H., Brägger, U., Bürgin, W., & Lang, N. P. (1996). The effect of subcrestal placement of the polished surface of ITI implants on marginal soft and hard tissues. *Clinical Oral Implants Research*, 7(2), 111–119. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1996.070204.x>

Hämmerle, C. H., Chen, S. T., & Wilson, T. G. Jr. (2004). Consensus statements and recommended clinical procedures regarding the placement of implants in extraction sockets. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 19(Suppl), 26–28.

Hämmerle, C. H. F., Jung, R. E., Sanz, M., Chen, S., Martin, W. C., Jackowski, J., Ivanoff, C. J., Cordaro, L., Ganeles, J., Weingart, D., Wiltfang, J., Gahlert, M., & the multicenter study group. (2012). Submerged and transmucosal healing yield the same clinical outcomes with two-piece implants in the anterior maxilla and mandible: Interim 1-year results of a randomized controlled clinical trial. *Clinical Oral Implants Research*, 23(2), 211–219. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02210.x>

Hatcher, D. C., Dial, C., & Mayorga, C. (2003). Cone beam CT for pre-surgical assessment of implant sites. *Journal of the California Dental Association*, 31(11), 825–833.

Hermann, J. S., Cochran, D. L., Nummikoski, P. V., & Buser, D. (1997). Crestal bone changes around titanium implants: A radiographic evaluation of unloaded nonsubmerged and submerged implants in the canine mandible. *Journal of Periodontology*, 68(11), 1117–1130. <https://doi.org/10.1902/jop.1997.68.11.1117>

Jacobs, R., Salmon, B., Codari, M., Hassan, B., & Bornstein, M. M. (2018). Cone beam computed tomography in implant dentistry: Recommendations for clinical use. *BMC Oral Health*, 18(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0523-5>

James, R. A. (1980). Peri-implant considerations. *Dental Clinics of North America*, 24(3), 415–420.

Juodzbaly, G., Raustia, A. M., & Kubilius, R. (2007). A 5-year follow-up study on one-stage implants inserted concomitantly with localized alveolar ridge augmentation. *Journal of Oral Rehabilitation*, 34(10), 781–789. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2006.01679.x>

Jung, R. E., Zembic, A., Pjetursson, B. E., Zwahlen, M., & Thoma, D. S. (2012). Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean follow-up of 5 years. *Clinical Oral Implants Research*, 23(Suppl 6), 2–21. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02547.x>

Khoury, F., & Doliveux, R. (2018). The bone core technique for the augmentation of limited bony defects: Five-year prospective study with a new minimally invasive technique. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 38(2), 199–207. <https://doi.org/10.11607/prd.3467>

Lekholm, U., & Zarb, G. A. (1985). Patient selection and preparation. In P. I. Brånemark, G. A. Zarb, & T. Albrektsson (Eds.), *Tissue-integrated prostheses: Osseointegration in clinical dentistry* (pp. 199–209). Quintessence Publishing.

Lim, G., Lin, G. H., Monje, A., Chan, H. L., & Wang, H. L. (2018). Wound healing complications following guided bone regeneration for ridge augmentation: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 33(1), 41–50. <https://doi.org/10.11607/jomi.5581>

Lobbezoo, F., Van der Zaag, J., & Naeije, M. (2006). Bruxism: Its multiple causes and its effects on dental implants—An updated review. *Journal of Oral Rehabilitation*, 33(4), 293–300. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2006.01609.x>

Maló, P., de Araújo Nobre, M., Lopes, A., Ferro, A., & Botto, J. (2019). The All-on-4 treatment concept for the rehabilitation of the completely edentulous mandible: A longitudinal study with 10 to 18 years of follow-up. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 21(4), 565–577. <https://doi.org/10.1111/cid.12769>

Menini, M., Dellepiane, E., Deiana, T., Fulcheri, E., Pera, P., & Pesce, P. (2022). Comparison of bone-level and tissue-level implants: A pilot study with a histologic analysis and a 4-year follow-up. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 42(4), 535–543. <https://doi.org/10.11607/prd.4990>

Misch, C. E. (1989). Bone classification: Training keys to implant success. *Dentistry Today*, 8(4), 39–44.

Misch, C. E., & Judy, K. W. (1987). Classification of partially edentulous arches for implant dentistry. *International Journal of Oral Implantology*, 4(2), 7–13.

Misch, C. E. (1990). Density of bone: Effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive bone loading. *International Journal of Oral Implantology*, 6(2), 23–31.

Misch, C. E. (2008). *Contemporary implant dentistry* (3rd ed.). Mosby.

Mizraji, G., Davidzohn, A., Gursay, M., Gursay, U., Shapira, L., & Wilensky, A. (2023). Membrane barriers for guided bone regeneration: An overview of available biomaterials. *Periodontology 2000*, 93(1), 56–76. <https://doi.org/10.1111/prd.12502>

Moon, I. S., Berglundh, T., Abrahamsson, I., Linder, E., & Lindhe, J. (1999). The barrier between the keratinized mucosa and the dental implant: An experimental study in the dog. *Journal of Clinical Periodontology*, 26(10), 658–663. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.1999.261005.x>

Moustafa Ali, R. M., Alqutaibi, A. Y., El-Din Gomaa, A. S., & Abdallah, M. F. (2018). Effect of submerged vs nonsubmerged implant placement protocols on implant failure and marginal bone loss: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Prosthodontics*, 31(1), 15–22. <https://doi.org/10.11607/ijp.5315>

Molina, A., Sanz-Sánchez, I., Martín, C., Blanco, J., & Sanz, M. (2017). The effect of one-time abutment placement on interproximal bone levels and peri-implant soft tissues: A prospective randomized clinical trial. *Clinical Oral Implants Research*, 28(4), 443–452. <https://doi.org/10.1111/clr.12818>

Naenni, N., Sahrman, P., Schmidlin, P. R., Attin, T., Wiedemeier, D. B., Sapata, V., Hämmerle, C. H. F., & Jung, R. E. (2018). Five-year survival of short single-tooth implants (6 mm): A randomized controlled clinical trial. *Journal of Dental Research*, 97(8), 887–892. <https://doi.org/10.1177/0022034518758036>

Negri, B., Calvo-Guirado, J. L., Maté Sánchez de Val, J. E., Delgado Ruiz, R. A., Ramírez Fernández, M. P., Gómez Moreno, G., Aguilar Salvatierra, A., Guardia, J., & Muñoz Guzón, F. (2013). Biomechanical and bone histomorphological evaluation of two surfaces on tapered and cylindrical root-form implants: An experimental study in dogs. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 15(6), 799–808. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2011.00431.x>

Papapanou, P. N., Sanz, M., Buduneli, N., Dietrich, T., Feres, M., Fine, D. H., Flemmig, T. F., Garcia, R., Giannobile, W. V., Graziani, F., Greenwell, H., Herrera, D., Kao, R. T., Kebschull, M., Kinane, D. F., Kirkwood, K. L., Kocher, T., Kornman, K. S., Kumar, P. S., ... Tonetti, M. S. (2018). Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of Periodontology*, 89(Suppl 1), S173–S182. <https://doi.org/10.1002/JPER.17-0721>

Park, J. Y., Kwon, Y. H., Song, Y. W., Cha, J. K., Jung, U. W., Thoma, D., & Jung, R. (2024). Is transmucosal healing of an implant as effective as submerged healing when simultaneous guided bone regeneration is performed? A preclinical study. *Journal of Clinical Periodontology*, 51(3), 330–337. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13913>

Pietrokovski, J., & Massler, M. (1967). Alveolar ridge resorption following tooth extraction. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 17(1), 21–27. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(67\)90046-7](https://doi.org/10.1016/0022-3913(67)90046-7)

Ruggeri, A., Franchi, M., Marini, N., Trisi, P., & Piattelli, A. (1992). Supracrestal circular collagen fiber network around osseointegrated nonsubmerged titanium implants. *Clinical Oral Implants Research*, 3(4), 169–175. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.1992.030403.x>

Sanz, M., Dahlin, C., Apatzidou, D., Artzi, Z., Bozic, D., Calciolari, E., De Bruyn, H., Dommisch, H., Donos, N., Eickholz, P., Ellingsen, J. E., Haugen, H. J., Herrera, D., Lambert, F., Layrolle, P., Montero, E., Mustafa, K., Omar, O., & Schliephake, H. (2019). Biomaterials and regenerative technologies used in bone regeneration in the craniomaxillofacial region: Consensus report of group 2 of the 15th European Workshop on Periodontology on Bone Regeneration. *Journal of clinical periodontology*, 46 Suppl 21, 82–91. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13123>

Sahrman, P., Naenni, N., Jung, R. E., Held, U., Truninger, T., Hämmerle, C. H., Attin, T., & Schmidlin, P. R. (2016). Success of 6-mm implants with single-tooth restorations: A 3-year randomized controlled clinical trial. *Journal of Dental Research*, 95(6), 623–628. <https://doi.org/10.1177/0022034516633432>

Sahrman, P., Naenni, N., Jung, R. E., Hämmerle, C. H. F., Attin, T., & Schmidlin, P. R. (2023). Ten-year performance of posterior 6-mm implants with single-tooth restorations: A randomized controlled trial. *Journal of Dental Research*, 102(9), 1015–1021. <https://doi.org/10.1177/00220345231170538>

Scarfe, W. C., & Farman, A. G. (2008). What is cone-beam CT and how does it work? *Dental Clinics of North America*, 52(4), 707–v. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2008.05.005>

Schnitman, P. A., & Shulman, L. B. (1979). Recommendations of the consensus development conference on dental implants. *Journal of the American Dental Association*, 98(3), 373–377. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1979.0052>

Simion, M., Baldoni, M., & Zaffe, D. (1992). Jawbone enlargement using immediate implant placement associated with a split-crest technique and guided tissue regeneration. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 12(6), 462–473.

Szmukler-Moncler, S., Salama, H., Reingewirtz, Y., & Dubruille, J. H. (1998). Timing of loading and effect of micromotion on bone–dental implant interface: Review of experimental literature. *Journal of Biomedical Materials Research*, 43(2), 192–203. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4636\(199822\)43:2<192::AID-JBM14>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4636(199822)43:2<192::AID-JBM14>3.0.CO;2-K)

Summers, R. B. (1998). Sinus floor elevation with osteotomes. *Journal of Esthetic Dentistry*, 10(3), 164–171. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.1998.tb00352.x>

Tay, J. R. H., Ng, E., Lu, X. J., & Lai, W. M. C. (2022). Healing complications and their detrimental effects on bone gain in vertical-guided bone regeneration: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 24(1), 43–71. <https://doi.org/10.1111/cid.13057>

Tatum, H. Jr. (1986). Maxillary and sinus implant reconstructions. *Dental Clinics of North America*, 30(2), 207–229.

Temple, K. E., Schoolfield, J., Noujeim, M. E., Huynh-Ba, G., Lasho, D. J., & Mealey, B. L. (2016). A cone beam computed tomography (CBCT) study of buccal plate thickness of the maxillary and mandibular posterior dentition. *Clinical Oral Implants Research*, 27(9), 1072–1078. <https://doi.org/10.1111/clr.12688>

Thoma, D. S., Bienz, S. P., Figuero, E., Jung, R. E., & Sanz-Martín, I. (2019). Efficacy of lateral bone augmentation performed simultaneously with dental implant placement: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 46(Suppl 21), 257–276. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13050>

Turkyilmaz, I., Sennerby, L., McGlumphy, E. A., & Tözüm, T. F. (2009). Biomechanical aspects of primary implant stability: A human cadaver study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 11(2), 113–119. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2008.00097.x>

von Elm, E., Altman, D. G., Egger, M., Pocock, S. J., Gøtzsche, P. C., Vandenbroucke, J. P., & STROBE Initiative. (2008). The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: Guidelines for reporting observational studies. *Journal of Clinical Epidemiology*, 61(4), 344–349. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2007.11.008>

Waechter, J., Leite, F. R., Nascimento, G. G., Carmo Filho, L. C., & Faot, F. (2017). The split crest technique and dental implants: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(1), 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2016.08.017>

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Wu, X., Ye, M., Sun, J., Yan, Q., Shi, B., & Xia, H. (2022). Patient-reported outcome measures following surgeries in implant dentistry and associated factors: A cross-sectional study. *BMJ Open*, 12(6), e059730. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-059730>

