

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA



Laurea Magistrale in Conservazione ed Evoluzione

Anno Accademico 2013-14

ANALISI DEGLI ELEMENTI IN TRACCIA IN
REPERTI UMANI ANTICHI: FIVIZZANO, UN
CASO STUDIO

Relatori

Prof. Francesco Mallegni

Dr. Fulvio Bartoli

Candidata

Linda Pierattini

Indice

Riassunto	4
1 INTRODUZIONE	5
1.1 Geografia	7
1.2 Storia	8
1.3 Contesto archeologico	10
1.4 Contesto antropologico	12
<i>1.4.1 Marcatori di stress</i>	13
<i>1.4.2 Patologie</i>	15
1.5 Comparazioni	17
<i>1.5.1 Roccapelago</i>	17
<i>1.5.2 Modelli alimentari vegetariani e vegani</i>	18
<i>1.5.3 Popolazioni artiche</i>	19
1.6 Suolo	20
2 MATERIALI E METODI	23
2.1 Materiali	23
<i>2.1.1 Composizione chimica delle ossa</i>	24
<i>2.1.2 Composizione chimica dei denti</i>	25
<i>2.1.3 Terreni</i>	27
2.2 Metodi	28
<i>2.2.1 Elementi in traccia</i>	28
<i>2.2.2 Spettroscopia ad assorbimento atomico</i>	33
<i>2.2.3 Campionamento</i>	35
<i>2.2.4 Procedura di laboratorio</i>	36
<i>2.2.5 Elaborazione del dato</i>	38
<i>2.2.6 Correzione e standardizzazione del dato</i>	39
<i>2.2.7 Comparazione dei dati</i>	40
3 RISULTATI E DISCUSSIONE	42
3.1 Risultati	42
<i>3.1.1 Risultati delle analisi spettroscopiche</i>	42
<i>3.1.2 Risultati della correzione e standardizzazione del dato</i>	85
<i>3.1.3 Analisi dati</i>	95
<i>3.1.4 Dati dei siti diacronici, sincroni ed eterotopici</i>	104

3.2 Discussione.....	107
<i>3.2.1 Discussione valori assoluti.....</i>	107
<i>3.2.2 Valutazione sulla correzione e standardizzazione del sito.....</i>	112
<i>3.2.3 Discussione sulle comparazioni.....</i>	114
3.3 Conclusioni.....	116
BIBLIOGRAFIA E SITIGRAFIA.....	118
Ringraziamenti.....	125

Riassunto

La curiosità nei confronti di una popolazione del passato è alla base del presente elaborato.

Il lavoro si concentra su un gruppo umano antico, di cui analizza reperti scheletrici e odontologici, indizi non solo di una particolare dieta, di uno stato sociale ed eventualmente patologico, ma anche di un'interazione tra gli organismi e l'ambiente in cui vivono; tenendo conto di età, sesso, provenienza, epoca in cui sono vissuti gli individui e stato di conservazione.

Lo scopo dello studio è quello di discriminare e convalidare le possibili alterazioni del dato con cause multifattoriali quali: origine ambientale sia *ante* che *post mortem*, stato di conservazione del reperto, natura chimica degli elementi, tipo di reperto analizzato, alimentazione e patologia.

Le analisi spettroscopiche basate sul contenuto degli elementi in traccia (elementi con concentrazione minore allo 0,01%, espressi sul totale della massa corporea riferita al peso secco) nelle ossa umane da scavo devono considerare che le concentrazioni degli elementi investigati dovrebbero riflettere quelle contenute dall'osso *ante mortem*; in realtà durante la loro permanenza nel terreno si possono verificare alterazioni nelle proporzioni, in conseguenza all'interscambio di elementi tra osso e suolo e viceversa.

I campioni oggetto di tesi sono provenienti dal cimitero della chiesa di San Giovanni Battista a Fivizzano (XIV sec.).

Il campionamento è stato effettuato su individui e animali prelevando coste, ossa lunghe e denti; inoltre sono stati presi vari campioni di terreno.

I dati sulle concentrazioni rilevati dai soggetti sono ottenuti tramite spettroscopia ad assorbimento atomico (A.A.S.); sono poi elaborati e standardizzati (correzione col sito) per poi essere confrontati con altri sincroni, diacronici ed eterotopici. I valori ottenuti sono stati successivamente analizzati statisticamente tramite software specifici.

1 INTRODUZIONE

Il termine "ecologia" fu usato per la prima volta da Ernest Haeckel nel 1869. Parafrasandolo possiamo intendere l'ecologia come lo studio scientifico delle interazioni tra gli organismi e il loro ambiente. La parola deriva dal greco *oikos* che significa casa. L'ecologia potrebbe essere considerata per questo come lo studio della "vita domestica" degli organismi viventi.

L'ambiente di un organismo è costituito da tutti quei fattori e fenomeni esterni che lo influenzano, siano essi fattori fisici e chimici (abiotici) o altri organismi (biotici). L'ecologia si interessa di tre livelli: l'organismo individuale, la popolazione costituita da organismi della stessa specie e la comunità o ecosistema costituita da un numero più o meno grande di popolazioni. A livello di individuo l'ecologia si occupa del modo in cui essi vengono influenzati e a loro volta influenzano il loro ambiente biotico e abiotico. A livello di popolazione si occupa della presenza o assenza di particolari specie, della loro abbondanza o rarità e delle tendenze e fluttuazioni del loro numero; si può dividere in due approcci, uno si occupa degli attributi degli organismi individuali e poi prende in considerazione il modo in cui questi si combinano per determinare le caratteristiche della popolazione; l'altro si concentra sulle caratteristiche delle popolazioni e cerca di porli in relazione con gli aspetti dell'ambiente. Da qui il terzo livello si occupa della composizione o struttura della comunità e del suo funzionamento. L'ecologia si sovrappone parzialmente con altre discipline, in particolare la genetica, la fisiologia, l'etologia e l'evoluzione; si interessa in particolar modo di quelle caratteristiche che influenzano la distribuzione e l'abbondanza quali i processi di natalità, mortalità e migrazione (Begon *et al.*, 1989).

Gli elementi in traccia sono elementi con concentrazione minore allo 0,1 µg per grammo di peso (Templeton, 2003)

La determinazione di vari oligoelementi permette di aggiungere dei tasselli alla conoscenza di una popolazione umana o animale. La loro concentrazione in un organismo dipende da reperti dall'alimentazione, dalle attività svolte in vita, da eventuali stati patologici, il tutto racchiuso dall'ambiente circostante. Nelle popolazioni umane gli elementi in traccia si studiano in ossa, denti, sangue, urine, tessuti e capelli. Le concentrazioni in un organismo antico dipendono anche dal luogo dove si decompone un corpo come uno spazio vuoto o pieno, ad esempio un terreno di

giacitura.

Le ossa come i costituenti dentari (smalto, dentina e cemento) sono gli elementi più duri del corpo, capaci di resistere ai processi putrefattivi del cadavere e alla gran parte dei fenomeni chimici del terreno di giacitura. Sono immerse nei tessuti molli a loro sostegno, ma con ulteriori funzioni da quelle più strette con l'apparato emopoietico fino a quelle metaboliche e ormonali (Mallegni, 2005). Le ossa sono a tutti gli effetti un archivio biologico, in cui oltre all'espressione fenotipica di alcuni caratteri genetici si possono osservare ulteriori fattori che la influenzano, come l'alimentazione, lo stato di salute e indicatori di stress (Fornaciari e Mallegni, 1981; 1989).

I generi alimentari variano al variare del contesto ambientale, la conoscenza della dieta può dare un'indicazione del benessere di una popolazione, inoltre il cibo con rapporti sociali complessi diventa una discriminante tra individui o gruppi che nel tempo, per vari motivi, hanno accesso a tipologie diverse di alimenti rispetto agli altri. Lo studio dell'alimentazione quindi, oltre a stabilire la tipologia di alimenti presenti nella dieta, offre la possibilità di ampliare il ventaglio di conoscenze su aspetti più o meno direttamente collegati ad essa.

Le attività svolte in vita possono portare gli individui a essere sottoposti a sostanze particolari che per inalazione, ingestione o contatto si fissano nel tessuto osseo.

Lo stato di salute oltre a essere lo specchio di uno status sociale può essere dovuto a fattori epigenetici, alimentari o dovuti a molteplici tipi di stress.

L'ambiente raccoglie al suo interno i punti menzionati prima, non a caso FAI (Fondo Ambiente Italiano) lo definisce come l'insieme dei fattori esterni a un organismo che ne influenzano la vita. Il termine viene anche inteso, in senso più ampio, come il complesso degli elementi naturali (la flora, la fauna, il paesaggio) e delle risorse che circondano un determinato organismo. Una specifica accezione è quella di ambiente interno, che si riferisce all'insieme delle caratteristiche interne a un organismo, soprattutto di natura chimica (le concentrazioni delle sostanze all'interno del corpo). L'ambiente si configura come un complesso attivo di elementi che si muovono in un contesto comune e che si influenzano reciprocamente. Non è solo un insieme di fatti (gli elementi che lo compongono), ma anche luogo di atti (le dinamiche che tra questi stessi elementi intercorrono).

Lo studio degli elementi in traccia attraverso analisi spettroscopiche si avvale della disciplina della Paleonutrizione. Brown (1974) e Gilbert (1975) aprirono la strada ad indagini paleonutrizionali su resti scheletrici umani. Dalla metà degli anni settanta,

numerosi sono stati gli sviluppi sia nelle tecniche che nelle metodologie applicate a questi studi, così come nei materiali impiegati, non solamente reperti osteologici umani e animali, ma anche odontologici.

Molti autori ritengono opportuno variare, quando possibile, la tipologia di materiale analizzato, poichè ciascun reperto si è dimostrato utile a chiarire un particolare aspetto della storia di un determinato individuo o popolazione. Poter collegare e confrontare queste informazioni, permetterebbe ad esempio di fare distinzioni tra l'età infantile e adulta, rilevando carenze alimentari, individuando possibili stati patologici o di malessere, e persino riconoscere nei cambiamenti alimentari o di eventuali marcatori ambientali indizi di fenomeni migratori.

La scelta del sito oggetto di studio, ovvero il cimitero della chiesa di San Giovanni Battista a Fivizzano, è stata determinata dalla presenza nel materiale scavato, sia di reperti osteologici, che odontologici umani e faunistici.

Il presente lavoro si propone di fare una ricostruzione socio-ecologica, ricavando le abitudini nei diversi periodi della vita degli individui oggetto di studio, deducendo le strategie di sussistenza della popolazione abitante Fivizzano nel XIV sec. e rilevando, se esistenti, stati patologici o carenze alimentari significative. Per raggiungere tale scopo, le analisi sono state mirate e diversificate a seconda del materiale di volta in volta esaminato, alla ricerca di quegli elementi in traccia particolarmente adatti per ricostruire il quadro alimentare e lo stato di salute. L'osservazione di due diverse componenti del dente stesso consente di conoscere la dieta dell'età adulta e quella dell'infanzia. Particolare attenzione è stata dedicata alle analisi del terreno di giacitura, lo studio degli specifici fattori chimico-fisici coinvolti è di fondamentale importanza per riconoscere lo stato di conservazione dei reperti al momento dello scavo, ricavando ulteriori informazioni per le analisi spettroscopiche.

1.1 Geografia

Fivizzano (provincia di Massa e Carrara), si trova a 326m s.l.m., sulle pendici sud-occidentali dell'Appennino tosco-emiliano nella Lunigiana, il centro sorge su una collina che sovrasta la valle del fiume Rosaro.



Fig. 1 Fivizzano

1.2 Storia

Fivizzano molto probabilmente risale all'epoca romana, ma nessun rinvenimento ha finora provato l'origine romana a cui richiama il toponimo (Ferrando Cabona e Crusi, 1981).

Il suo nome non figura in documenti anteriori al 1200. Nel XIII sec. il suo abitato formava un unico organismo politico e amministrativo con il castello della Verrucola appartenente ai Bosi, cosorteria feudale discendente dei Bianchi d'Erberia, che si attesta al 1044. I Bosi insieme ai Dallo, ai Castello e ai Bianchi d'Erberia rappresentavano all'epoca una vassallità minore che vantava diritti su ampi tratti della Lunigiana meridionale che fungeva in un certo senso da forza intermedia tra il vescovo di Luni e i Malaspina, impegnati nella lotta per il predominio di questa zona (Nobili, 1979; Volpe, 1923). Nel 1221, in seguito alla divisione del territorio della Lunigiana, il feudo della Verrucola venne assegnato ai Malaspina del Ramo fiorito, da questo momento la zona assiste a un decollo commerciale. Fivizzano conobbe un grande periodo di fioritura come luogo di mercato, di sosta e raduno aperto ai forestieri, infatti la sua posizione geografica era strategica come luogo di incrocio nella via che collegava Lucca a Reggio Emilia e Parma attraverso la Garfagnana, poi fungeva da raccordo con Luni e quindi con l'Aurelia.

Il castello ampliato nel XIV secolo da Spinetta Malaspina, rappresenta secondo alcuni il Forum Clodii della Tabula Peutingeriana. Tra le sue mura avvenne la strage della

Verrucola nel 1416, quando i marchesi di Gragnola fecero massacrare il marchese Bartolomeo e la sua famiglia

Dal momento in cui la stabilità politica assicurò più garanzie, il ruolo di Fivizzano si delineò più precisamente fino a diventare capoluogo quando avvenne la sua dedizione alla Repubblica Fiorentina nel 1447.

Intorno alla metà del Quattrocento il mercato della città era uno dei più importanti della Lunigiana, vi confluivano numerose merci che andavano ad unirsi ad un artigianato già avviato. I commerci più attivi erano quelli del grano e del sale.

I Malaspina tennero in gran conto la città di Fivizzano dotandola fin dall'inizio di edifici civili e religiosi; sono degli inizi del XIV secolo le notizie che riguardano le due chiese più importanti, la parrocchia dei Santi Iacopo e Antonio e la chiesa di San Giovanni Battista.

Nel XIV e XV secolo subì le incursioni di Castruccio Castracani e dei Visconti.

Dal 1477, Fivizzano divenne sede di capitanato alle dipendenze dirette di Firenze, ma ciò non impedì che nel 1496 venne assalita dalle truppe di Carlo VIII e nel 1537 da quelle spagnole del Marchese del Vasto.

Nel XVI secolo dunque, Cosimo I realizzò una nuova cinta muraria, ancora oggi in parte visibili.

Dal 1633 divenne sede del Governatorato di Lunigiana e nel 1750, l'Imperatore Francesco I unì il Commissariato di Pontremoli al Governatorato di Fivizzano.

Durante il periodo napoleonico, venne affidato a Elisa Baccocchi Bonaparte, per ritornare dopo il Congresso di Vienna al Granducato di Toscana fino al 1847, quando, per precedenti decisioni del Congresso di Vienna fu aggregato al Ducato estense di Modena. Dopo un'altra breve parentesi toscana, tornò sotto Modena fino all'unità di Italia.

Le popolazioni del territorio subirono durante l'ultimo conflitto mondiale rappresaglie e distruzioni.



Fig. 2 Fivizzano

Della chiesa trecentesca di San Giovanni Battista, che sorgeva nelle vicinanze del mercato, purtroppo oggi non rimane quasi nulla. Infatti oltre ad essere il risultato di una complessa stratificazione è stata gravemente danneggiata dal terremoto del 1920.

Alla fine del XIV secolo le sorti della chiesa si legarono a quelle degli Eremitani di Sant'Agostino. Le notizie che riguardano l'assetto trecentesco del complesso conventuale e della chiesa sono comunque scarse, informazioni più dettagliate provengono da documenti di epoche più recenti (XVI secolo) che consentono di ricostruire l'immagine di una chiesa dignitosa e conforme alle aspettative, con un altare maggiore e cinque minori. Nel Settecento risultano notevoli cambiamenti come il numero di altari, il restauro del coro e della navata, l'aggiunta di altri dipinti e la costruzione di nove cappelle. Il resto del complesso (biblioteca, chiostro e cimitero) era ad uso della comunità di fedeli.

1.3 Contesto archeologico

Dopo la demolizione post-sisma, della chiesa di San Giovanni Battista non è rimasto nient'altro che un pavimento in cotto settecentesco e la rasatura dei muri perimetrali. In seguito sono emerse diverse sepolture all'interno dell'edificio sacro.

A livello di cultura materiale l'area cimiteriale esterna rappresenta un *unicum* nel suo genere, sono state rinvenute una serie di medagliette di bronzo con immagini sacre. Lo scavo antropologico ha permesso di registrare la loro posizione esatta rispetto al corpo del defunto, probabilmente segno di una certa ritualità o intenzione, considerando che ogni santo provvede alla protezione di una certa parte del corpo (Cecconi, 2003).

Sono stati trovati reperti di corredo come fibbie, bottoni, passanti, frammenti di tessuto. Non è stato raro rinvenire gruzzoli di monete posizionati quasi sempre a livello del bacino, molto probabilmente in corrispondenza di tasche e quindi forse dimenticati a seguito di una deposizione frettolosa. Insieme a questi spesso sono stati trovati grani di rosario.



Fig. 3 Bottoni

Dal punto di vista tafonomico il cimitero ha conosciuto fasi diverse di utilizzo, caratterizzate ognuna da altrettante disposizioni e orientamento rispetto alla chiesa.

Sono state ricostruite piante di scavo piuttosto precise dato che, nella sequenza stratigrafica, i reperti ceramici emersi rispecchiano la successione tassonomica (Cecconi, 2003). I campioni oggetto di studio provengono dall'Area 3000 dello scavo archeologico.

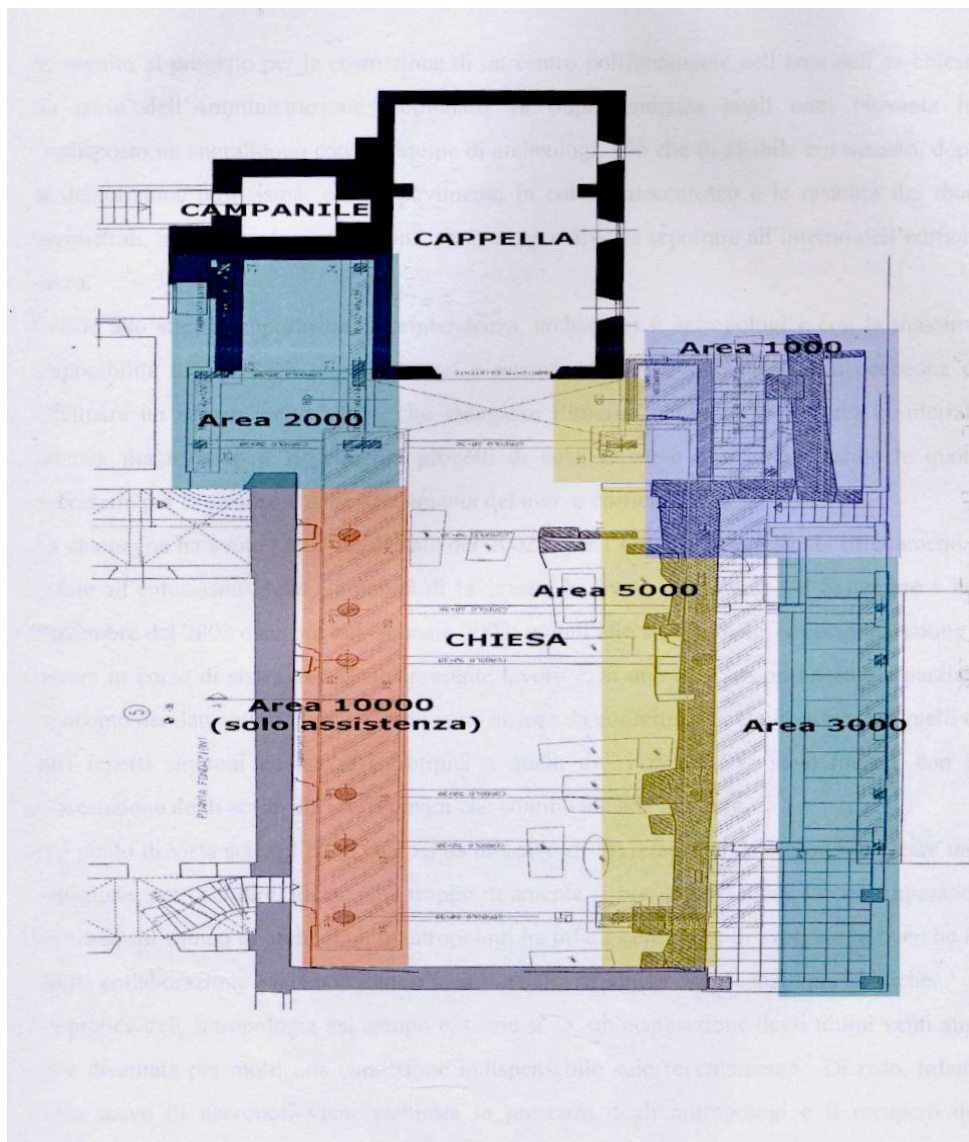


Fig. 4 Cartina dello scavo della Chiesa di San Giovanni Battista

1.4 Contesto antropologico

Lo stato di conservazione dei resti scheletrici è per lo più mediocre, la maggior parte delle deposizioni presenta posizioni supine, con gli arti superiori incrociati all'altezza dell'addome, frequentemente sono stati riscontrati spazi vuoti parziali, in quanto sono state posizionate ai lati della testa del defunto due pietre che hanno determinato la dislocazione laterale del cranio e a volte lo scivolamento in avanti della mandibola. Viene presupposto che sopra il volto del defunto fosse collocata una copertura di legno o pietra poggiante sulle due pietre in modo da preservarlo dal contatto con la terra di riempimento.

L'analisi antropologica a causa delle condizioni di conservazione dei loro resti spesso non ha permesso alcuna misurazione, quindi il materiale non è stato sufficiente a dare dati rappresentativi, tendenzialmente si presentano caratteri di brachicrania e di eurimetopia con fronte mediamente divergente. Per quanto riguarda il post-craniale alcuni individui presentano euribrachia; alcuni casi di platimeria e iperplatimeria portano a dedurre che ci siano stati stress nutrizionali ed ergonomici per attività deambulatorie sotto sforzo (Cecconi, 2003).

La speranza di vita si aggira intorno ai 32-34 anni.



Fig. 5 Scavo

1.4.1 Marcatori di stress

I marcatori di stress sono morfologie distintive e a volte vere e proprie alterazioni patologiche, quando creano reazioni infettive. Essi possono svilupparsi come risultato di un'attività lavorativa, però, in molti casi il legame tra la presenza di una data caratteristica morfologica o patologica e un certo tipo di attività non sono univoci.

Quando un marcatore di stress ha una sua specifica fenotipia spesso è l'espressione di un insieme di fattori genetici e ambientali, nonché la risposta alle particolari abitudini del soggetto. Uno dei marcatori più riscontrato negli individui femminili sono le squatting facets (Capasso *et al.*, 1999), le faccette accessorie sul margine anteriore dell'epifisi distale della tibia. Queste dovrebbero denunciare la permanenza in posizione accovacciata con i talloni sollevati, ma anche lo stare in piedi su scale e pioli e salirle ripetutamente portando carichi notevoli. A questo marcatore sono associati frequentemente l'esostosi del tendine di Achille e lo sprone calcaneare, le due

caratteristiche in altri casi, sono legate allo stress sul muscolo adduttore dell'alluce e si verificano quando si cammina su terreni accidentati e impervi. Altro marcatore associato ai precedenti è la presenza marcata sulla patella dell'intacco del vasto, il tendine distale del quadricipite femorale, questa lesione è tipica della condizione legata alla flessione cronica delle ginocchia, come nello stare accovacciati. La fossa di Allen, impronta antero-cervicale sul collo del femore è legata all'estensione dell'arto inferiore e alla rotazione della testa femorale nell'acetabolo, la sua formazione potrebbe essere legata alla vita di montagna, soprattutto nel percorrere lunghe discese (Cecconi, 2003).

Non meno frequenti sono le esostosi sul margine superiore dell'olecrano dell'ulna, dette lesione del boscaiolo (Capasso *et al.*, 1999). Lo stress si scarica sull'inserzione del tricipite durante la flessione e l'estensione del braccio, cioè quando il muscolo è completamente esteso e lavora con la massima forza, a gomito flesso e a braccia orizzontali. Le spicole ossee sulla tuberosità bicipitale del radio indicano un'attività di trasporto di oggetti con gomiti piegati, tipica di muratori, fornai e tutti i lavori agricoli, che abitualmente portano pesi con le braccia piegate contro il petto.

Nel materiale antico sono ricorrenti le periostiti (a livello tibiale), spesso conseguenti a camminamenti su terreni impervi; l'individuo dell'US 3268 presenta periostiti marcate tali da poter diagnosticarne probabili ulcere varicose con conseguenze setticemiche dovuta a infezioni da germi.

La popolazione presa in esame mostra un quadro di attività e occupazioni quotidiane verosimilmente piuttosto pesanti, legate soprattutto ai lavori agricoli, alle attività pastorali di montagna, al taglio della legna, alla produzione di carbone e alla tessitura, queste posizioni, infatti, implicano quasi tutte le posizioni delle gambe e dell'uso delle braccia nei modi più vari. Con ogni probabilità queste occupazioni riguardavano indistintamente sia uomini che donne (Cecconi, 2003).

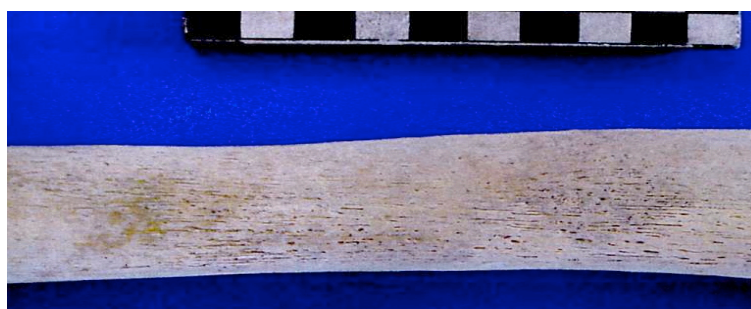


Fig. 6 Periostite

1.4.2 Patologie

Gli individui del sito preso in esame presentano alcuni casi di patologie scheletriche e dentarie. Tra le patologie scheletriche annoveriamo l'individuo dell'US 3307 (15 anni) come esempio di nanismo, ma non eclatante, soltanto la cassa toracica sembra meno sviluppata in ampiezza rispetto al normale. I casi di nanismo diversi da quello acondroplastico, ma sempre in forma congenita, sono molto differenti e riguardano anomalie o disordini nello sviluppo cartilagineo. Le forme non congenite provocate invece da varie disfunzioni sono più difficili da individuare; gli arresti della crescita possono essere causati dalle più diverse forme di sofferenza, prima di tutto dalle forti carenze alimentari, specie quelle proteiche. Anche le disfunzioni ghiandolari della tiroide sono spesso causa con caratteristiche diverse, l'ipertiroidismo blocca prematuramente la crescita, si produce calcificazione delle cartilagini, una diffusa osteoporosi e l'ispessimento delle estremità (acropachia). L'ipotiroidismo provoca una forma di nanismo caratterizzata da maturazione ritardata accompagnata da osteoporosi diffusa. I disturbi ipofisari (carenza di somatotropina o ormone della crescita GH), invece, possono essere dovuti a traumi, tumori, deformità congenite o degenerazioni, che producono effetti ossei tipici dell'arresto di crescita, si riscontra così ritardo nello sviluppo dei centri di ossificazione, ritardata dentizione e ritardo nella crescita cartilaginea, risultando ossa fragili e gracili, ma non deformi. Il nanismo dell'individuo dell'US 3307 potrebbe essere a causa di disfunzioni tiroidee, dovute anche alle caratteristiche del territorio oggi legate alla scarsità dello iodio nelle acque. L'individuo dell'US 3307, come altri giovani presi in esame, presenta inoltre ipoplasia dello smalto, riconducibile a stati di sofferenza che corrispondono all'età che segue immediatamente lo svezzamento, probabilmente dovuto a lattazioni prolungate e con un'alimentazione poco adeguata nel passaggio dal latte materno alla dieta normale (Cecconi, 2003).

L'individuo dell'US 3357 presenta ernie di Schmorl sui corpi vertebrali di toraciche e lombari, la loro presenza è legata all'osteofitosi e alla degenerazione dei dischi vertebrali, quindi all'avanzare dell'età; in questo caso essendo un individuo di circa 20 anni la spiegazione più plausibile sembra che siano legati ad attività pesanti o a una predisposizione genetica.

L'individuo dell'US 3272 (maschio, 55 anni) presenta una neoplasia benigna sulla porzione del frontale destro, forma tumorale che colpisce spesso i maschi adulti. A livello di distretto toracico presenta un certo grado di scoliosi e una spondilolisi in L5,

ovvero la mancata unione delle parti intra articolari della vertebra dovuta probabilmente a stress da lavoro anche se non c'è alcuna evidenza di degenerazione osteofitica a carico della colonna che fa propendere per una concausa genetica e traumatica.

L'anemia può essere causata o da problemi di tipo nutrizionali o da altri fattori non legati alla dieta. Per esempio le infezioni parassitarie possono causare una severa anemia, così come le emorragie, le infezioni batteriche e virali, o diarree croniche. Inoltre esistono malattie di tipo genetico che determinano anemia come la talassemia e l'anemia falciforme. Lo studio di questa patologia in materiale scheletrico antico è possibile perché l'anemia determina delle modificazioni nella struttura del tessuto osseo. Questi cambiamenti fanno parte di una sindrome indicata con il termine di iperostosi porotica. Il tessuto midollare per compensare la ridotta disponibilità di ferro nel sangue aumenta la propria attività di produzione delle cellule. L'aumento dell'attività del tessuto midollare a sua volta causa l'aumento del tessuto osseo spugnoso a scapito di quello compatto; questo processo determina un aspetto poroso della superficie dell'osso. I distretti scheletrici più colpiti sono il cranio (volta cranica, ossa parietali, tetto delle orbite) e le ossa postcraniali, ma solo nei casi più gravi di anemia.

Sono presenti vari individui in cui sono riscontrati iperostosi porotica e *cribra cranii*, correlati a stati di anemie da sottrazione e spesso a talassemie, ma non è questo il caso essendo zone storicamente prive di malaria. Le anemie carenziali possono essere dovute a diarree da svezzamento che portano ad una forte disidratazione e malnutrizione (Carlson *et al.*, 1974), oppure alla sostituzione del latte materno con latte di capra. La lattazione prolungata, probabilmente a causa della povertà porta a carenze di vitamina D, ferro e fluoro. Per quanto riguarda gli adulti possono essere forme croniche o nel caso di donne in età fertile potrebbero essere dovute ad emorragie abbondanti (Cecconi, 2003).



Fig. 7 *Cribrata orbitalia*

Tra i vari individui sono presenti anche due patologie come la spondilite anchilosante e la DISH (Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis).

La DISH è una patologia degenerativa sistemica a carico delle entesi (fasci di fibre di legamenti che si inseriscono nelle ossa), spesso è confusa con l'artrosi. È associata frequentemente all'obesità, ad alterazioni del metabolismo purinico (gotta), del metabolismo lipidico e glucidico (diabete di tipo II e obesità) e altre anomalie metaboliche e tiroidee (Colina *et al.*, 2006).

Negli individui esaminati sono presenti anche varie patologie dentarie come ipoplasie dello smalto, carie e granulomi. L'ipoplasia dello smalto indica stati di sofferenza alimentare.; le carie si formano principalmente a causa di diete ricche di zuccheri e carboidrati; i granulomi sono lesioni tipiche da infezioni croniche.

I precedenti studi hanno posto l'attenzione sull'insufficienza alimentare intesa come dieta povera e poco equilibrata che gioca un ruolo significativo nel rendere più debole il reagire alle malattie; inoltre l'avviamento al lavoro che doveva avvenire in giovane età minava lo sviluppo normale e lo stato di salute, unito alla scarsa igiene che doveva causare frequenti manifestazioni infettive.

Va aggiunto il campo delle intossicazioni alimentari, in particolar modo l'ergotismo, dovuta a farine di cereali contenenti gli sclerozi della segale cornuta, causata dall'ascomicete *Claviceps purpurea*; provoca convulsioni, ulcere, necrosi e cancrene degli arti a causa della vasocostrizione.

1.5 Comparazioni

Al fine di contestualizzare il presente studio si ritiene opportuno confrontare il sito di Fivizzano con il sito di Roccapelago (MO) e con analisi svolte su individui vegani, vegetariani e popolazioni artiche.

1.5.1 Roccapelago

Roccapelago è una frazione di Pievepelago in provincia di Modena, è situato ad un'altitudine di 1095 m s.l.m., circondato dall'Appennino modenese.

Nella cripta della chiesa di San Paolo sono state ritrovate un centinaio di individui

sepolti dalla metà del '500 al 700, mummificati naturalmente a causa del particolare microclima creatosi all'interno del luogo di sepoltura.

Sono stati sottoposti ad analisi 15 campioni osteologici umani prelevati dalla porzione corticale di femore appartenente a 10 individui di sesso femminile e a 5 individui di sesso maschile.

Per la ricostruzione delle abitudini alimentari sono considerati come principali marcatori nutrizionali stronzio e magnesio, quali indicatori di dieta di origine prevalentemente vegetariana e cerealicola, e zinco e rame, quali indicatori di dieta di origine principalmente proteica. È stato inoltre analizzato il calcio, quale elemento maggioritario costituente la matrice ossea, utile per valutare lo stato di preservazione *post mortem* e lo stato di salute *intra vitam* e opportuno per standardizzare i dati ed attenuare l'influenza di eventuali contaminazioni diagenetiche attraverso il rapporto elemento/calcio. Dai risultati delle analisi emergono esigui livelli di calcio, uniformemente riscontrati in tutti i campioni, come possibile effetto di uno stato patologico di sostanziale omogeneità o come probabile conseguenza di una deplezione *post mortem*, fenomeno diagenetico di frequente accadimento nelle sepolture in spazio vuoto. Le concentrazioni di stronzio e zinco, inferiori alla norma, sono tali da giustificare un quadro nutrizionale in cui il consumo di carne rossa, frutta e verdura risulta essere praticamente inesistente. Gli esigui apporti di stronzio potrebbero essere derivati dal consumo sistematico di radici e piante selvatiche, mentre quelli di zinco potrebbero essere ricondotti ai derivati del latte. Il limitato ricorso alle risorse di origine animale è ulteriormente sostenuto dai valori irrilevanti di rame, indicativi dell'assenza totale di consumo di cibi altamente proteici quali molluschi e frattaglie.

I consistenti livelli di concentrazione di magnesio, superiori alla norma, rimandano ad un quadro nutrizionale a carattere sostanzialmente cerealicolo. Crusca e frumento, ghiande e castagne sembrano essere oggetto di un consumo intensivo e sistematico e rappresentare le principali fonti di nutrimento per gli antichi abitanti di Roccapelago (Andretta *et al.*, 2013).

1.5.2 Modelli alimentari vegetariani e vegani

I modelli alimentari vegetariani e vegani escludono rigorosamente il consumo della carne di qualsiasi animale.

Le diete vegetariane sono basate su cereali, legumi, verdura, frutta, uova e latticini, mentre la dieta vegana esclude non solo la carne ma qualsiasi alimento di origine animale.

Gli introiti di calcio dei vegetariani sono comparabili se non addirittura superiori a quelli dei non-vegetariani, mentre quelli dei vegani tendono a collocarsi su soglie inferiori. Il fabbisogno giornaliero sembra essere più basso per via delle minori perdite di calcio da parte dell'organismo; le proteine animali producendo un alto carico di scorie acide aumentano la quantità di calcio persa dall'organismo (Remer *et al.*, 1994). I cibi come frutta secca e cereali, ricchi di sodio, ossalati e fitati producono un aumento delle perdite urinarie di calcio, mentre potassio e magnesio contrastano questo fenomeno. I fitati riducono inoltre l'assorbimento del ferro e dello zinco, per quanto l'incidenza delle anemie sia pressochè uguale tra vegetariani e non-vegetariani (Messina *et al.*, 2004).

Gli studi effettuati sui vegetariani adulti mostrano che questi individui hanno bassi livelli di zinco e rame, alti di manganese e una deficienza di ferro (Gibson, 1994).

Un'analisi effettuata su dodici donne vegane giapponesi, in buono stato di salute e di età compresa tra i 30 e 60 anni, rivela che solo i livelli di calcio sono più bassi, rispetto alla popolazione generale. Il fosforo contenuto nei cereali e nei legumi è alto; non si osservano differenze per quanto riguarda il sodio; il potassio e il magnesio sono notevolmente alti a causa del massiccio consumo di verdura e frutta; i livelli maggiori nelle donne vegane di rame, ferro e manganese è probabilmente dovuto a legumi e cereali; lo zinco, in generale è presente in basse concentrazioni, probabilmente a causa dell'inibizione da parte dei fitati contenuti in cereali e legumi (Yoshida *et al.*, 2011).

1.5.3 Popolazioni artiche

Gli Inuit sono una popolazione che vive nelle regioni costiere artiche dell'America settentrionale, il loro territorio è principalmente composto dalla tundra e da pianure basse prive di alberi. Tradizionalmente sono cacciatori di mammiferi marini, di cui si compone principalmente la loro dieta. A causa dell'ambiente in cui vivono sono quasi esclusivamente carnivori, i loro apporti nutritivi provengono dalla carne di caribù, balena, foca, e in parte minore pesce, uccelli e uova. Un regime talmente radicale sembra, a un primo sguardo, carente di micronutrienti, invece non è così. Il fosforo e il

ferro sono abbondanti nella carne; le vitamine A, D e E e i grassi essenziali nel pesce azzurro; la vitamina C proviene da alimenti come il fegato di foca crudo e ciò sopperisce, in parte, all'assenza di vegetali freschi nella dieta (Sharma *et al.*, 2010).

In uno studio diacronico (era cristiana-fine del XIX secolo) di sei popolazioni Inuit del nord-ovest dell'Alaska è stata utilizzata l'analisi degli elementi in traccia (Connor e Slaughter, 1984). Lo stronzio appare in concentrazioni alte, spiegabili a causa di un'alimentazione composta principalmente da mammiferi marini che lo assorbono dall'acqua del mare; i mammiferi marini hanno i livelli di questo elemento più alti rispetto ai mammiferi terrestri. Come controllo sono state confrontate con le concentrazioni trovate nel caribù (erbivoro terrestre) e nell'orso polare (predatore marino). Colpiscono le maggiori concentrazioni dello stronzio nell'orso polare rispetto al caribù, dovuta al predare mammiferi marini. Il calcio degli individui è abbastanza costante e non si riscontrano carenze; lo stronzio variabile a seconda del periodo della popolazione in esame, probabilmente dovuti a cambiamenti nelle attività di sussistenza; lo zinco è alto in concomitanza a una dieta prettamente carnivora; il magnesio decresce in base al periodo, nei più antichi è più alto, questo suggerisce una minore quantità di grassi nella dieta (mammiferi marini) e maggior consumo di pesce e caribù; il manganese è estremamente variabile e il rame rispetta il range fisiologico; il ferro presenta dei picchi probabilmente dovuti a inquinamento di alcuni campioni (Connor e Slaughter, 1984).

1.6 Suolo

Di particolare interesse è inoltre la natura del luogo che accoglie l'individuo dopo la sua morte: la sua temperatura, le eventuali infiltrazioni d'acqua, le precipitazioni ed il pH del terreno (Pate e Hudson, 1988), concorrono, insieme alle caratteristiche proprie delle ossa ed all'azione dei microrganismi, a creare condizioni più o meno favorevoli alle alterazioni diagenetiche.

Le alterazioni diagenetiche del terreno di giacitura e di conseguenza delle ossa interrate in ambienti di sepoltura, dipendono dalle reazioni chimico-fisiche e microbiologiche, condizionati dal potenziale di ossidoriduzione, dal pH e dal livello di umidità (Stain, 1992).

Il concetto di diagenesi è stato sviluppato in geologia in riferimento ai molti processi

che modificano i sedimenti o le rocce in seguito alla deposizione in acqua; adattato all'antropologia, il termine è riferito più specificamente ai cambiamenti *post mortem* dei costituenti chimici dell'osso in seguito alla deposizione nel terreno. La diagenesi è dovuta a fattori intrinseci che riguardano i reperti come la densità, la grandezza, la microstruttura e la biochimica delle ossa; i fattori estrinseci, invece comprendono il pH, la solubilità e la temperatura del terreno di giacitura. L'alterazione diagenetica si esplica attraverso fenomeni di cementazione, di rigenerazione cristallina, di demineralizzazione e di sostituzione di minerali preesistenti (Ceccanti *et al.*, 2003).

Al momento dell'inumazione l'individuo subisce la demolizione dei tessuti molli e le ossa giungono a contatto con l'ambiente circostante, da questo momento inizia l'alterazione del reperto osteologico. Il cambiamento dell'aspetto fisico è dovuto alle mutazioni chimiche che avvengono nei costituenti organici e inorganici delle ossa. La parte organica è costituita dal collagene che racchiude le strutture dei cristalli di idrossiapatite, componente inorganica, la cui alterazione non dipende solo dalla degradazione microbica del collagene, ma anche a causa dell'azione distruttiva dei metaboliti acidi liberati nel processo biologico (Sandford, 1992).

Un reperto osseo appena interrato va verso uno stato di equilibrio chimico con il terreno circostante (White e Hannus, 1983). Gli ioni calcio e gli ioni fosfato del suolo sono in equilibrio con gli ioni calcio e gli ioni fosfato presenti sulla superficie delle ossa. L'idrossiapatite può perderli o inglobarli a seconda della differenza tra le loro concentrazioni. Queste reazioni sono dipendenti dal pH del terreno. La produzione di ioni H^+ o di ioni OH^- deriva dalla presenza nel suolo di composti chimici quali acidi, basi e sali solubili in acqua. In pratica nei terreni acidi l'osso è alterato e distrutto più velocemente che nei terreni alcalini. La finestra di ricristallizzazione ottimale, quindi che avviene velocemente e che limita lo scambio ionico con l'ambiente circostante, dell'idrossiapatite si colloca in un intervallo di pH di 7,6-8,1 (Berna *et al.*, 2004); con pH maggiori di 8,1 la ricristallizzazione è più lenta e si può avere una perdita degli ioni del calcio, del magnesio, dello stronzio e di tutti gli ioni che tendono a legarsi con lo ione OH^- presente nel suolo. Lo stato di conservazione dei reperti dipende molto da questo parametro.

Silicio, ferro, magnesio, manganese, stronzio sono alcuni elementi essenziali per gli uomini e hanno indicativamente una concentrazione media maggiore nella crosta terrestre (Ceccanti *et al.*, 1994). Una contaminazione del reperto è sospettabile quando i livelli nel terreno superano o sono comparabili a quelli delle ossa e quelli rilevati nel

campione osteologico superano i range fisiologici di riferimento e non siano riconducibili ad eventuali stati patologici o di intossicazione.

Al fine di stabilire l'eventuale contaminazione *post mortem* dei reperti e procedere così alle successive analisi, il pH del terreno è stato analizzato in maniera preliminare.

Fra i reperti umani interrati, lo smalto dei denti risulta non essere soggetto ad alterazioni diagenetiche, essendo formato da particolari cristalli resistenti alla contaminazione biochimica, alla quale il tessuto osseo ed in particolare la sua struttura porosa può essere viceversa altamente suscettibile (Giblin, 2004).

Per lo studio sul pH sono stati pesati 15 g di terreno miscelati in 150 ml di acqua bidistillata (soluzione acquosa al 10%) e analizzato con il pHmetro Eutech pH 510, dopo taratura per pH e temperatura con acqua bidistillata.

Il valore ottenuto rivela un pH basico leggermente maggiore del range di ricristallizzazione, non precludendo la scelta del sito in esame.

2 MATERIALI E METODI

2.1 Materiali

Le analisi dei campioni sono state effettuate su 38 individui: 26 da reperti osteologici, 5 da reperti odontologici, 7 sia da ossa che da denti.

campione ID	OSSA	DENTI	età	sex
1) T1 US4	femore dx		adulto	m
2) T2 US6 fase 6	femore dx		adulto	indet
3) T6 ind 1	femore dx		adulto	m
4) T9 fase 2a ind 2	femore dx		adulto	f
5) T9 fase 2a ind 3 US24	femore dx		adulto	m
6) T10 fase 6 bis	femore dx		adulto	m
7) T11 fase 2 ind 1 US19	femore dx		adulto	f
8) T13 fase 3 ind 2	femore dx		adulto	f
9) T13 fase 4 ind 1	femore dx		adulto	m
10) T14 ultima fase	femore dx		indet	indet
11) T15 fase B ind 1	femore dx		adulto	f
12) T15 ind 2	femore dx		adulto	f
13) T16 fase 4 ind 1	femore dx		adulto	m
14) T18 fase 6 ind 1	femore dx		adulto	m
15) US 3382	femore dx		adulto	m
16) US 5407 ind 1	femore dx		adulto	m
17) US 5407 ind 2	tibia sx		adulto	m
18) US 5548	tibia sx		adulto	f
19) US 5461	tibia sx		adulto	m
20) US 5464	femore		10-11 anni	
21) US 3168	tibia		8-9 anni	
22) US 3268	tibia		indet	indet
23) US 3331	femore	M1 mascella	adulto	m
24) US 3307	omero	M1 mascella	11-12 anni	
25) US 3272	femore	M1 mascella	adulto	m
26) US 3343	tibia	M1 mascella	adulto	m
27) US 3341	femore		13-14 anni	
28) US 3312	tibia		8-9 anni	
29) US 3316	femore		9-10 anni	
30) US 3303	femore	M1 mascella	adulto	f
31) US 3148	femore		12- 13 anni	
32) US 3219	radio	M3 mascella	adulto	indet
33) US 3357	omero sx	M1 mas M1 mand	16 anni	
34) US 3189		M1 mascella	adulto	m
35) US 3133		M1 mandibola	adulto	f
36) US 3374		M1 mascella	adulto	m
37) US 3350		M1 mas M2 mas I mas	adulto	f
38) US 3172		M1 mas M2 mas	adulto	m

Tab. 1 Campioni umani

Al fine di contestualizzare e standardizzare il dato sono analizzati due campioni di fauna,

proveniente dall'erbivoro *Bos taurus* (ossa e dente) e dall'onnivoro *Sus scrofa* (dente); oltre a 5 campioni di terreno.

2.1.1 Composizione chimica delle ossa

Le ossa sono costituite da due sostanze, una matrice organica (circa il 30%) e una inorganica (circa il 70%).

La sostanza organica è formata da fibre di collagene (90%) incluse in una sostanza amorfa costituita da complessi proteico-mucopolisaccaridi e da glicoproteine.

La sostanza inorganica è formata da carbonato (9-11%), da fosfato di calcio (84-86%) e in minor misura da fluoruro di calcio (0,6-3%) e fosfato di magnesio (1-2%), sottoforma di cristalli molto simili all'idrossiapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$.

Per la sua forma strutturale l'idrossiapatite è in continuo interscambio con l'ambiente circostante, ciò comporta l'apporto o la perdita fisiologica di elementi nelle ossa *intra vitam* e l'apporto o la perdita diagenetica *post mortem*.

Queste variazioni consistono in un continuo passaggio di ioni incorporati dall'osso. Le regioni superficiali sono maggiormente propense a tale scambio ionico, possiedono quindi una natura chimica altamente dinamica. A differenza di queste le cellule interne sono circoscritte nei cristalli e perciò più stabili.

Il materiale osteologico è composto da porzioni di osso corticale prelevati da ossa lunghe. La scelta è stata determinata principalmente da tre ordini di considerazioni: l'osso corticale mostra valori analitici intraindividuali più omogenei rispetto a quello trabecolare (Grupe, 1988), inoltre il suo spessore agevola la rimozione di incrostazioni superficiali esterne ed interne ed è infine meno soggetto a contaminazioni *post mortem* (Bartoli e Bacci, 2009). Bisogna infine ricordare che il turnover metabolico varia a seconda del distretto scheletrico preso in considerazione e con esso anche i livelli di concentrazione degli elementi in traccia (Bratter *et al.*, 1977); i campioni di femore, omero o tibia sono ritenuti i più adatti al fine di ottenere un dato attendibile.

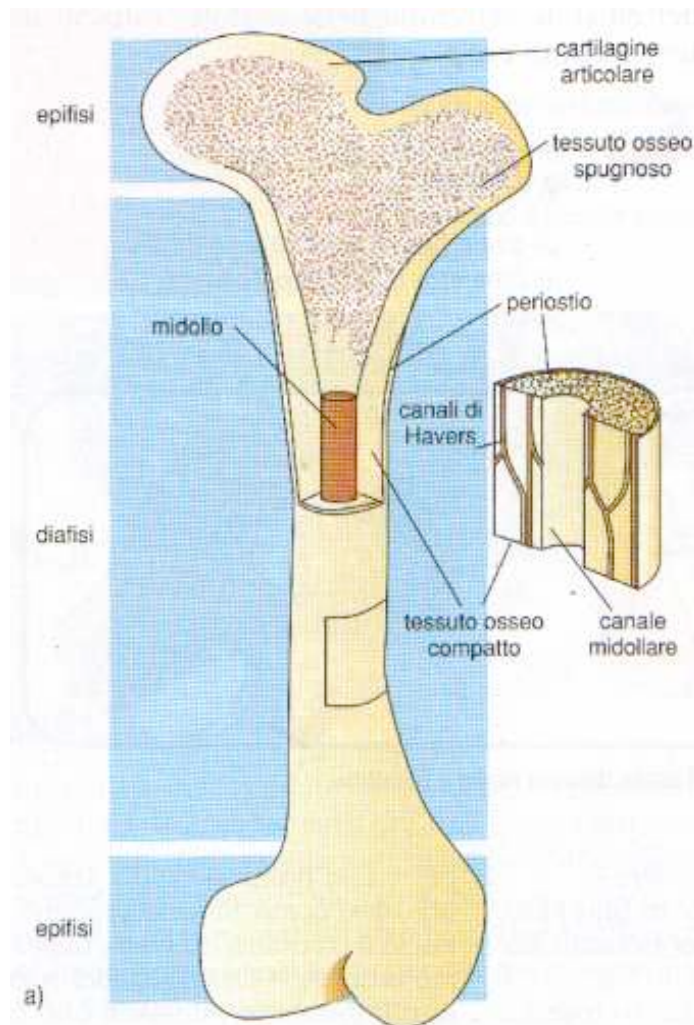


Fig. 8 Composizione ossa

2.1.2 Composizione chimica dei denti

Il dente si compone in due parti, la corona libera nella bocca e la radice impiantata nell'alveolo; la corona è formata da uno strato esterno di smalto e uno interno di dentina, mentre la radice è formata da uno strato esterno di cemento a protezione dello strato interno di dentina.

La dentina è un tessuto connettivo mineralizzato, assieme alla polpa costituisce la maggior parte del dente; il ruolo principale è resistere e trasmettere gli sforzi meccanici. La composizione è simile a quella delle ossa, il 70% è matrice inorganica e il 30% organica. La dentina è attraversata da tubuli dentinali che sono in contatto con la camera pulpare.

Lo smalto è la parte più dura e compatta del dente; il suo ruolo è di resistere all'usura e

di proteggere la dentina. È composto per il 96,5% da materia inorganica e per il 3,5% da materia organica. Non è attraversato da canali nutritivi.

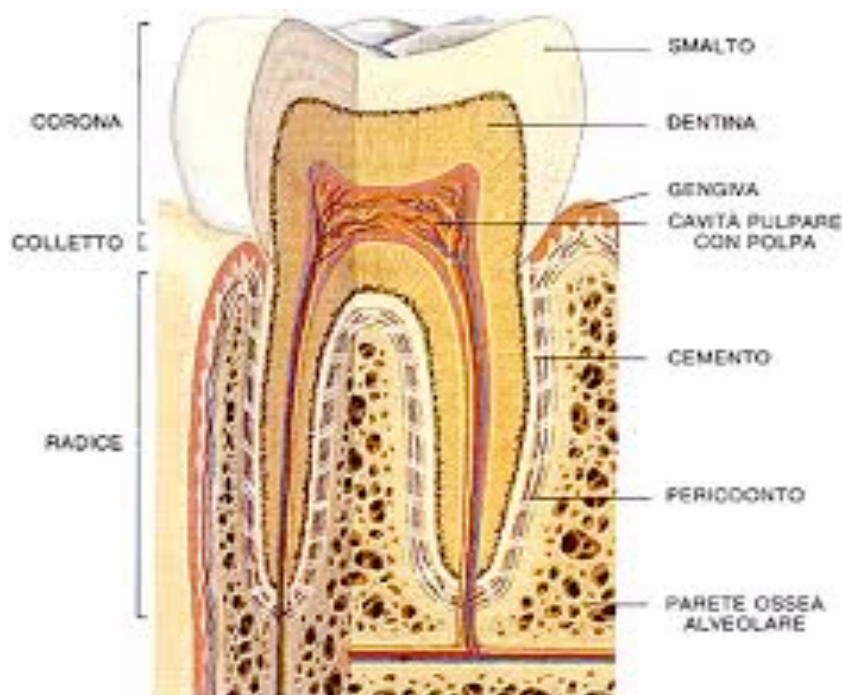


Fig. 9 Composizione denti

Lo studio dei denti presenta come aspetto più interessante quello di una forte stabilità *post mortem* che permette di mettere in evidenza l'eventuale presenza di fenomeni diagenetici presenti nel campione osteologico di confronto.

La mineralizzazione dei denti ha inizio circa dieci settimane prima della nascita col primo molare mandibolare e mascellare e prosegue con le corone che sono completate generalmente prima del nono anno d'età (Hillson, 1996; Gustafson e Koch, 1974).

La dentina, continua ad essere rimodellata *in vivo* ed ha una struttura molto più simile all'osso corticale.

Lo smalto dei denti invece, è un tessuto non vascolarizzato e acellulare, con una struttura molto densa, che completata la formazione, non può essere più rimodellato o rigenerato; per questo è considerato più stabile rispetto agli altri tessuti dello scheletro (Montgomery, 2010). Lo smalto racchiude in sé le informazioni riguardanti l'infanzia di un individuo e la sua origine geografica.

Il confronto tra ossa, dentina e smalto permetterebbe quindi di riscontrare eventuali differenze nella concentrazione degli elementi analizzati, tra l'età adulta e quella giovanile.

Nella tabella sotto è riportata l'età approssimata della crescita dei denti.

Denti DECIDUI	Denti PERMANENTI
<i>Incisivi centrali: 7 mesi</i>	<i>Incisivi centrali: 7 anni</i>
<i>Incisivi laterali: 10 mesi</i>	<i>Incisivi laterali: 8 anni</i>
<i>Canini: 14 mesi</i>	<i>Canini: 12 anni</i>
<i>Primi molari: 17 mesi</i>	<i>Primi premolari: 11 anni</i>
<i>Secondi molari: 24 mesi</i>	<i>Secondi premolari: 12 anni</i>
	<i>Primi molari: 6 anni</i>
	<i>Secondi molari: 12 anni</i>
	<i>Terzi molari: 17-24 anni</i>

Tab. 2 Età approssimata della crescita dei denti

2.1.3 Terreni

Ogni suolo ha caratteristiche proprie e una specifica dotazione di elementi minerali e sostanza organica.

Il pH del terreno misura la concentrazione di ioni H^+ nella soluzione circolante, cioè nella fase liquida che si trova negli spazi lasciati liberi dalle parti solide; poichè questa soluzione interagisce continuamente con le superfici solide, a causa di questi fenomeni il pH dipende soprattutto dalla natura, dal numero di questi siti di scambio, dal loro grado di saturazione e dal tipo di basi presenti (K, Mg, Ca, Na).

Il pH del suolo influenza notevolmente l'attività microbiologica e la disponibilità di elementi minerali. Alcuni processi di decomposizione della sostanza organica prediligono ambienti leggermente acidi o leggermente alcalini (6,8-7,2). L'acidità del terreno condiziona la solubilità dei vari elementi (Anderson e Domsch, 1993).

I terreni acidi, pH inferiore a 6,7, sono originati da situazioni diverse, per lo più dipendenti dalla natura geologica dei suoli, ma soprattutto dalle condizioni climatiche e dal tipo di vegetazione. In questi terreni si riscontra una forte liscivazione e un insufficiente assorbimento di ioni calcio, magnesio, potassio e fosforo, un aumento della disponibilità di manganese, ferro, alluminio, nichel e rame che possono raggiungere concentrazioni tossiche (Kabata-Pendias e Pendias, 1985; Panero, 1985; Paul e Ladd, 1981).

I terreni alcalini, con pH maggiore di 7,3, sono caratterizzati dalla presenza di alcuni componenti che sono in grado di influenzare le proprietà chimico-fisiche dei suoli stessi. A questo riguardo si possono distinguere terreni calcarei, in cui sono presenti carbonato di calcio e magnesio che difficilmente superano un pH di 8-8,4; e terreni salini e sodici in cui sono presenti forti quantità di sali solubili ed il cui pH può superare 8,5. In linea generale questi terreni hanno una minor disponibilità di microelementi, un aumento della quantità di calcio (terreni calcarei) a livelli da indurre antagonismi con magnesio e potassio (Kabata-Pendias e Pendias, 1985; Panero, 1985; Paul e Ladd, 1981).

I terreni neutri, con pH compreso tra 6,7 e 7,3, hanno ridotti fenomeni di insolubilizzazione, la dotazione di elementi minerali è generalmente equilibrata e viene favorita l'attività microbica (Kabata-Pendias e Pendias, 1985; Panero, 1985; Paul e Ladd, 1981).

Lo studio preliminare del pH del terreno di giacitura del sito in esame è importante, a causa dell'influenza che questo parametro ha sulla concentrazione degli elementi in traccia e maggioritari, presenti nel suolo e nei reperti osteologici e odontologici in studio.

2.2 Metodi

L'importanza delle analisi sugli elementi in traccia risultò evidente a partire dagli anni cinquanta. In seguito ai primi esperimenti nucleari (Karlson, 1967), si riscontrò un aumento dell'isotopo dello Sr^{90} nell'atmosfera, nel suolo e nelle piante; le ricerche successive, svolte al fine di stabilire il livello di radiazioni assorbite dall'uomo, mostrarono una stretta correlazione tra le concentrazioni di stronzio negli individui sotto esame e la quantità dello stesso elemento nel terreno (Turekian, Kulp, 1956) e come queste variassero in funzione del suo ciclo biogeochimico (Odum, 1951).

2.2.1 Elementi in traccia

Nel corpo umano si possono distinguere, in base alla quantità assoluta, due categorie di elementi: quelli maggioritari con concentrazione superiore allo 0,01% espressi sul totale

della massa corporea riferita al peso secco (Shroeder, 1973); quelli in traccia con concentrazione inferiore allo 0,01%, ulteriormente suddivisi in essenziali, potenzialmente essenziali, non essenziali e tossici (Underwood, 1977).

Gli elementi utili alle analisi spettroscopiche vengono selezionati in considerazione di cinque criteri (Beck, 1985): la relazione tra i livelli di un elemento nella dieta e quelli presenti nelle ossa deve essere diretta ed evidente; le concentrazioni nello scheletro devono essere tali da permetterne misurazioni precise; i livelli dell'elemento non devono essere soggetti ad alterazioni dovute a stati patologici o eventuali variazioni devono essere chiaramente riconducibili ad una specifica patologia; i livelli di un elemento non dovrebbero subire variazioni diagenetiche o essere influenzati dall'età e/o dal sesso dell'individuo.

Calcio (Ca)

Sebbene il calcio non sia un elemento in traccia, è necessario un cenno preliminare qualora si voglia trattare degli elementi chimici che si depositano nelle ossa, infatti costituisce la parte integrante della matrice ossea, concentrandosi per il 99% nello scheletro. È essenziale tener presente che il calcio è distribuito nell'organismo in percentuali diverse a seconda della componente considerata: il 25% è contenuto nelle ossa, il 27% nella dentina, il 3,6% nello smalto (Smrcka, 2005) e il rimanente si trova nei tessuti molli e nel plasma. È dunque essenziale per la crescita e la vita del tessuto, il suo assorbimento varia in relazione all'età e al tipo di individuo.

Una perdita di calcio durante la giacitura dello scheletro nel terreno ipotizza una probabile perdita anche di altri elementi, è quindi opportuno per ogni elemento indagato calcolare il rapporto matematico tra le concentrazioni di questo e del calcio, ponendoli inoltre in correlazione con quelli ottenuti da ossa animali presenti nello stesso sito di prelievo, al fine di ridurre l'errore dovuto alla diagenesi e per standardizzare i risultati rendendoli più attendibili (Price e Kavanagh, 1982; Schoeninger, 1982). I vari elementi infatti si accumulano in vita nelle ossa per scambio ionico con il calcio e *post mortem* la concentrazione dei vari elementi mostra una discreta variabilità in funzione del diverso contenuto di calcio nei reperti stessi.

Il calcio è il quinto elemento e il terzo metallo maggiormente abbondante nella crosta terrestre. È trovato più comunemente in latte e nei suoi derivati (Fidanza e Liguori, 1988), ma anche in noci, soia, sardine, prezzemolo e varie qualità di cavolo

(Underwood, 1977; Gilbert, 1975). Una mancanza di calcio è una delle cause principali di osteoporosi, una malattia in cui le ossa diventano estremamente porose e quindi soggette a fratture e cicatrizzazione lenta.

Stronzio (Sr)

Lo stronzio, elemento non indispensabile al buon funzionamento dell'organismo, è caratterizzato da una struttura chimica simile a quella del calcio; circa il 99% dello stronzio ingerito si deposita nelle ossa a livello dei cristalli che formano la componente inorganica dello scheletro. Ciò è molto importante perchè, occupati i cristalli, lo stronzio rimane stabile anche dopo la morte dell'individuo e durante l'interramento dello scheletro (Comar *et al.*, 1963).

Lo stronzio è concentrato principalmente nei vegetali che lo assorbono dal suolo attraverso le radici, un apporto più consistente è riscontrato nelle piante a foglia larga che non nelle graminacee. Esso entra così nella catena alimentare e tende a ritrovarsi in concentrazioni elevate nelle ossa degli erbivori e in proporzioni minori in quelle di onnivori e carnivori; è indicativo di una dieta prevalentemente vegetariana, può raggiungere livelli ragguardevoli durante l'infanzia e l'adolescenza, con picchi nelle donne durante la gravidanza e l'allattamento (Sillen e Kavanagh, 1982). Lo stronzio è indicativo anche del consumo di molluschi e di pesci marini di piccola taglia.

Bassi livelli di questo elemento sono stati correlati a un indebolimento di denti e ossa, le possibili cause possono essere una dieta qualitativamente scarsa, povera di calcio e di vitamina D, lo stronzio ranelato è tuttoggi utilizzato come trattamento per l'osteoporosi (Kaufman *et al.*, 2013).

Il contenuto di questo elemento nel terreno di giacitura varia in funzione al tipo di suolo, in relazione ai fattori climatici, all'intensità di liscivazione o all'erosione e alla degradazione, rappresentando un parametro molto importante per stimare e correggere eventuali inquinamenti diagenetici dei reperti.

Avendo un'alta variabilità ambientale viene utilizzato come marcatore nelle migrazioni umane e animali (Magath *et al.*, 2013).

Zinco (Zn)

Lo zinco è essenziale, partecipa a importanti processi come la mineralizzazione delle

ossa, svolge varie funzioni in relazione all'assorbimento delle vitamine, nella digestione dei carboidrati e nel metabolismo in generale. È necessario per la crescita dell'individuo. La fonte più considerevole di zinco è costituita dalle carni rosse, dal latte e i suoi derivati; quantità rilevanti sono comunque evidenti in fagioli, lenticchie, piselli e soia; ostriche e crostacei contengono concentrazioni di questo elemento molto elevate; i prodotti ittici, in genere, contengono lo zinco, seppur in quantità non considerevoli (Mirce,1984). È possibile infine osservare concentrazioni di zinco, benchè esigue, in verdura, frutta e cereali. Lo zinco di origine vegetale è meno assorbito dall'organismo a causa dell'acido fitico con cui forma un complesso di difficile metabolizzazione.

Carenze di zinco possono portare a carenze di acido folico, correlate ai difetti del tubo neurale (Bound *et al.*, 1997). Zinco e cromo normalizzano la glicemia (Anderson *et al.*, 2001). Alti dosaggi di zinco diminuiscono l'assorbimento di ferro e rame e alti livelli di calcio interagiscono con l'assorbimento di zinco.

Nel terreno esso tende ad accumularsi negli strati superiori del suolo, aumentando proporzionalmente alle quantità di humus e di materia organica presenti, inoltre le concentrazioni di zinco sono particolarmente rilevanti nelle rocce eruttive basiche.

La possibilità di rilevare tale concentrazione nel terreno consente di correggere eventuali inquinamenti dei reperti relativi a fenomeni diagenetici.

Magnesio (Mg)

Il magnesio è essenziale, circa il 70% di esso si trova nelle ossa insieme al calcio e al fosforo, mentre il rimanente 30% è situato nei tessuti molli e nei fluidi dell'organismo. Svolge un ruolo importante per la funzione neuromuscolare, cardiovascolare e per la normale formazione delle ossa (Mieczkowski *et al.*, 2013). La deficienza di magnesio è correlata con l'osteoporosi (Rude *et al.*, 2004).

Esso é considerato indicatore di una dieta prevalentemente vegetariana. Lo si assume attraverso un'alimentazione ricca in cereali, legumi e vegetali a foglia verde (Mertz, 1987; Fidanza e Liguori, 1988); ma è anche presente in germe di grano, fiocchi e farina d'avena, in mais e fagioli, in lenticchie e piselli; oltre che in alcuni tipi di frutta secca; discrete quantità si trovano in mandorle, nocciole, noci, fichi e castagne (Mirce, 1984).

Il magnesio costituisce circa il 2% in peso della crosta terrestre ed è il terzo metallo che vi si trova come abbondanza.

Rame (Cu)

Il rame è essenziale ed è presente in tutti i tessuti dell'organismo, partecipa alla formazione dell'emoglobina e dei globuli rossi, facilitando l'assorbimento del ferro (Fox, 2003) ha quindi un ruolo nelle anemie (Prohaska, 2014) e nelle malattie neurodegenerative (Squitti *et al.*, 2013). Interagisce con l'assorbimento di zinco e cadmio.

Livelli alti di rame si possono trovare nel fegato di bue e di vitello e nelle frattaglie in genere, nei molluschi, nei crostacei e nella maggior parte dei frutti di mare (Mirce, 1984). Questo elemento è presente in concentrazioni minori anche nella frutta secca, nelle carni bianche, nei legumi e nei cereali (Mirce, 1984). Va sottolineato infine che, nonostante il rame sia insieme allo zinco, associato ad una dieta principalmente proteica, anche i vegetali lo possono contenere, lo assorbono direttamente dal terreno in cui sono coltivati e in quantità proporzionale al contenuto di questo elemento nel terreno stesso (Mirce, 1984; Fidanza e Liguori, 1988).

Il rame è un elemento molto comune che si presenta naturalmente nell'ambiente.

Ferro (Fe)

Il ferro è il metallo più abbondante che forma la terra, la sua concentrazione nei vari strati varia da molto alta nel nucleo a circa il 5% nella crosta esterna.

Nonostante sia particolarmente soggetto a fenomeni diagenetici, viene comunque utilizzato nello studio della dieta, poichè la sua presenza può essere collegata al consumo di viscere, uova, legumi, carne, pesce, noci, verdura e cereali (Underwood, 1977; Gilbert, 1975).

Il ferro è la molecola centrale del gruppo eme dell'emoglobina, è un elemento essenziale, la sua carenza è una delle cause principali delle anemie (Brittenham *et al.*, 2012). Serve per far assumere efficacemente il calcio e lo zinco; in alti dosaggi ne fa diminuire l'assorbimento.

Manganese (Mn)

Il manganese è essenziale per la formazione delle ossa e della cartilagine, per l'utilizzazione della vitamina B₁, dell'vitamina E e del ferro (Delbono *et al.*, 2002)

Il manganese è un elemento molto comune ed è uno dei metalli più abbondanti nel terreno; è un oligoelemento essenziale tossico, che significa che non è soltanto necessario per la sopravvivenza degli esseri umani, ma anche tossico se presente nel corpo umano in concentrazioni troppo alte. La tossicità causata da inalazione e ingestione crea disturbi al sistema nervoso centrale (Andersen *et al.*, 1999). L'eccesso interferisce, inoltre, con l'assorbimento del calcio e del ferro (Delbono *et al.*, 2002).

Il manganese è presente in noci, cereali, radici, tuberi, frutta, carne e pesce, viene spesso utilizzato come indicatore di diagenesi perchè particolarmente sensibile ad alterazioni di questa natura.

Piombo (Pb)

Il piombo è un metallo pesante e tende ad accumularsi nell'ambiente; è tossico sia ingerito che inalato. Si accumula nel fegato, nei reni, nei muscoli, nel sangue e nelle ossa (www.medicina-del-lavoro.com).

Il piombo causa il blocco delle attività di enzimi ricchi di gruppi -SH, ha azione spastica su muscolatura liscia di apparato digerente e vasi periferici, emolitica agendo a livello delle lipoproteine delle membrane cellulari, rendendole più fragili e azione tossica sui nervi periferici con conseguente paralisi, forse per interferenza con i processi di mielinizzazione. Il piombo riduce la biodisponibilità di zinco (Bound *et al.*, 1998). Il saturnismo è una malattia dovuta all'esposizione di questo metallo.

2.2.2 Spettroscopia ad assorbimento atomico

Le tecniche utilizzate attualmente per le analisi degli elementi in traccia sono molteplici. Tra i metodi più comunemente in uso troviamo la Fluorescenza a Raggi X (XRF), l'Analisi dell'Attivazione Strumentale dei Neutroni (INAA), la Spettroscopia Accoppiata ad Emissione al Plasma (ICP) e la Spettroscopia ad Assorbimento Atomico (A.A.S.).

La spettroscopia ad assorbimento atomico è usata in chimica analitica per la determinazione qualitativa e quantitativa di specie inorganiche.

Atomi e molecole che interagiscono con una radiazione elettromagnetica di opportuna energia passano da uno stato fondamentale di minima energia a uno stato eccitato a maggiore energia (assorbimento). Lo stato eccitato non è stabile e atomi e molecole

tendono a ritornare in tempi molto brevi nello stato fondamentale, restituendo all'ambiente l'energia assorbita. Se tale restituzione di energia avviene sotto forma di energia radiante si parla di emissione.

Si basa sulla legge di Lambert-Beer: $A = \log(I_0/I) = kbc$; dove A è l'assorbanza misurata dallo strumento; I e I_0 sono rispettivamente le intensità della radiazione incidente e in uscita; k è il coefficiente di assorbimento atomico spettrale, ovvero una costante caratteristica per ogni riga di assorbimento e per ogni elemento chimico; b il cammino ottico percorso dalla radiazione; c la concentrazione dell'elemento in esame.

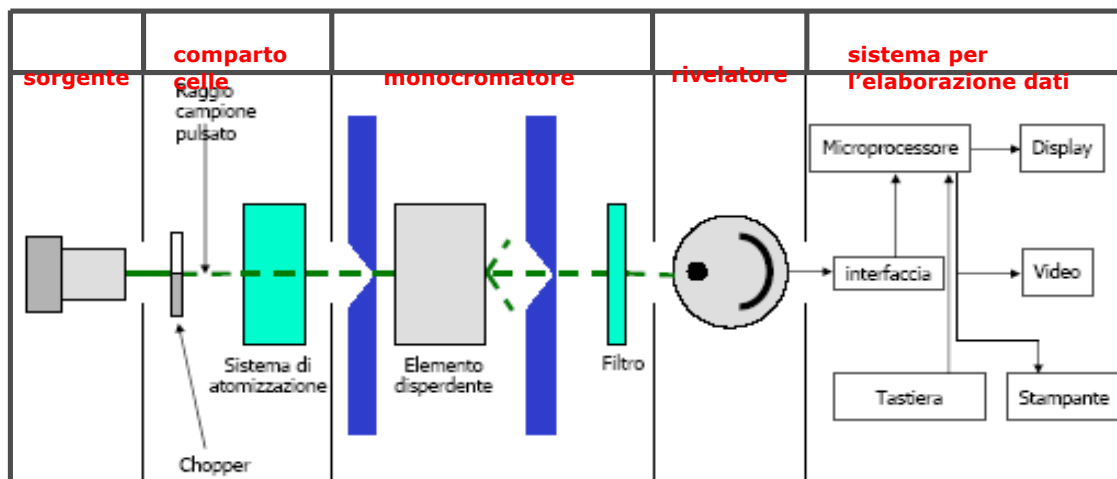


Fig. 10 Spettrofotometro ad assorbimento atomico

La sorgente è una lampada a catodo cavo; il sistema di atomizzazione è dove il campione in soluzione viene aspirato nel nebulizzatore da una corrente di gas, poi trasformato in aerosol e infine passa nel bruciatore e quindi nella fiamma. Il monocromatore è un sistema che da un fascio di luce seleziona una radiazione monocromatica, di frequenza prossima a quella richiesta per l'assorbimento. Il rivelatore trasforma l'energia radiante in segnale elettrico.

Rifacendosi alla legge di Kirchoff "la materia assorbe luce alla stessa lunghezza d'onda alla quale la emette", il grado con cui tali spettri vengono assorbiti dagli elettroni stimolati dallo stesso elemento è un riflesso quantitativo della presenza dell'elemento nel campione.

Nella presente ricerca è stato utilizzato uno spettrometro ad assorbimento atomico iCE 3000 SERIES Thermo Fisher, che impiega il software SOLAAR (Thermo Fisher) per l'elaborazione delle concentrazioni degli elementi in traccia.

2.2.3 Campionamento

I campioni osteologici sono stati prelevati con l'ausilio di un dremel con lama a disco diamantata dalla compatta delle diafisi delle ossa lunghe.

I campioni odontologici sono stati prelevati dalla mandibola o dalla mascella degli individui in esame.

I campioni di suolo sono stati prelevati dal terreno di giacitura di alcuni individui.

2.2.4 Procedura di laboratorio

Pulizia

Ciascun campione osteologico è stato inizialmente privato della terra, dove presente e accuratamente pulito rimuovendo, con l'aiuto di bisturi e specilli, da 1 a 3 mm di superficie esterna; questo consente da un lato di asportare eventuali contaminanti inorganici penetrati nell'osso durante la sua deposizione nel terreno, dall'altro di escludere quella porzione di osso con la maggiore quantità di elementi in traccia in considerazione del fatto che i minerali diminuiscono di concentrazione dalla superficie verso la parte centrale delle ossa (Grupe, 1988; Lambert *et al.*, 1989).

Le ossa e i denti sono ulteriormente puliti con lavaggio con acqua bidistillata in una vaschetta a ultrasuoni con lo scopo di eliminare ogni possibile residuo di terra.

I campioni di terreno sono setacciati per ottenere una polvere per le successive analisi.

Incenerimento

Successivamente i crogioli contenenti ognuno un campione, sono stati ordinatamente posizionati all'interno di una muffola e incineriti a 600° C, per eliminare la componente organica (come riportato in Mallegni, 2005).

Per quanto riguarda i denti, è stato stabilito di analizzare separatamente la dentina di ciascun dente, che dovrebbe fornire dei risultati in linea con quelli delle ossa, e lo smalto, dal quale ottenere indicazioni sulla dieta dei primi anni di vita. Per separare i due costituenti, i denti sono stati posti all'interno della muffola e combusti a 600°C, per un tempo maggiore rispetto ai campioni osteologici (Smith *et al.*, 1984).

L'elevata temperatura ha determinato l'eliminazione delle parti organiche, modificando la consistenza dei due costituenti e rendendo quindi molto più agevole la successiva separazione manuale.

A questo punto i campioni sono stati trattati seguendo lo stesso iter dei reperti osteologici.

Il terreno segue la stessa procedura delle ossa.

Disidratazione

I campioni incineriti sono stati trasferiti in appositi mortai e polverizzati mediante un pestello; la polvere così ottenuta viene nuovamente versata nel crogiolo e posizionata sotto campana con sali disidratanti al fine di eliminare l'eventuale acqua interstiziale e di idratazione dei minerali.

Pesatura

Le polveri vengono accuratamente pesate: 0,500 g, per quanto riguarda le ossa e i suoli, mentre 0,250 g per le componenti dentarie, poi sono trasferiti in appositi matracci e l'eventuale residuo è conservato in una provetta.

Digestione acida

Il campione è adesso pronto per essere sottoposto a due consecutivi attacchi acidi a caldo, un'operazione eseguita sotto cappa.

Il primo attacco consiste nel versare nel matraccio 5 ml di acido nitrico in concentrazione pura (67%) e posizionare lo stesso su una piastra che mantiene una temperatura di 140°C per circa mezz'ora; successivamente sono aggiunti 5 ml di acido cloridrico (36/38%) 1 M, poste nuovamente sulla piastra scaldante alla stessa temperatura per circa mezz'ora.

I campioni osteologici e del terreno sono ridotti allo stato liquido, dopodiché sono portati a volume con acqua bidistillata in matracci da 50 ml e filtrati in presenza di residuo. I campioni odontologici a causa del peso inferiore sono portati a volume con acqua bidistillata in matracci da 25 ml.

Diluizioni

Le soluzioni così ottenute sono pronte per le analisi allo spettrometro ad assorbimento atomico per quanto riguarda gli elementi zinco, rame, piombo, manganese e ferro.

Per gli elementi calcio, magnesio e stronzio a causa del range delle concentrazioni fisiologiche attese, le soluzioni vanno diluite rispettivamente 1:800, 1:20, 1:2 con acqua bidistillata.

Va segnalato che per quanto riguarda gli elementi del secondo gruppo (Ca, Sr, Mg) è necessaria l'aggiunta di un tampone, in questo caso il lantanio (cookbook Thermo Fisher), al fine di eliminare eventuali interferenze che andrebbero a compromettere i risultati delle analisi.

Controllo negativo e standard di calibrazione

Il controllo negativo o bianco è una soluzione composta da acqua bidistillata e dagli acidi con la stessa concentrazione di quelli presenti nei campioni, che permette da un lato di stabilire lo zero relativo di quella che sarà poi la retta di calibrazione e dall'altro di fornire allo spettrometro l'esatta composizione delle soluzioni da leggere, evitando dunque che alcuni dei costituenti, sebbene infinitesimali, presenti negli acidi possano influenzare i risultati della lettura dei campioni.

Per ottenere i calibrati sono prelevate, da una soluzione standard a concentrazione nota, tre diverse quantità, utili per la retta di calibrazione, alle quali vengono aggiunti acido nitrico e cloridrico nella stessa quantità presente nei campioni, e portate a volume con acqua bidistillata. Gli standard di calibrazione per gli elementi diluiti devono rispettare la proporzione e l'aggiunta di lantanio. In questo modo per ciascun elemento da analizzare si avranno a disposizione tre standard ovvero tre punti dai quali passerà la suddetta retta di calibrazione.

Analisi spettroscopiche

Per l'analisi dei vari elementi in traccia è stato utilizzato uno spettrometro ad assorbimento atomico (iCE 3000 SERIES, Thermo Fisher), che impiega il software SOLAAR (Thermo Fisher) per l'elaborazione delle concentrazioni.

In fase preliminare è prevista, per ogni elemento da analizzare, l'aspirazione di acqua

bidistillata, del controllo negativo e delle soluzioni standard per creare una retta di calibrazione rispetto alla quale verranno poi valutate le concentrazioni degli elementi nei campioni.

Lo spettrometro esegue tre letture per campione e ne segnala la media.

2.2.5 Elaborazione e interpretazione del dato

Elaborazione del dato

I risultati ottenuti sono infine elaborati in base al peso e alle eventuali diluizioni; si avrà una concentrazione dell'ordine dei *ppm* da poter essere confrontati con i valori fisiologici di riferimento (Smrcka, 2005; Ceccanti *et al.*, 1994; Kabata-Pendias e Pendias, 1985).

Elemento	Range fisiologici umani	Range terreno
Zinco	120-200 ppm onnivoro	60 ppm (concentrazione soglia 150 ppm)
	170-250 ppm carnivoro	
	90-150 ppm erbivoro	
Stronzio	150-400 ppm onnivoro	Dipende dal tipo di suolo
	100-300 ppm carnivoro	
	400-500 ppm erbivoro	
Piombo	10-90 ppm	concentrazione soglia 100 ppm
Rame	20 ppm	40 ppm (concentrazione soglia 120 ppm)
Manganese	14 ppm	1000 ppm
Ferro	110-118 ppm	30000 ppm
Magnesio	2200-3100 ppm	20000 ppm
Calcio	250-300 mg/g	Dipende dal tipo di suolo

Tab. 3 Range fisiologici e range del suolo

I dati ottenuti verranno raggruppati in grafici, suddivisi in base a sesso e età, e componente del reperto.

La concentrazione soglia rappresenta il limite di contaminazione al di sopra della quale è necessaria l'analisi di rischio negli studi delle matrici ambientali.

Analisi dei dati

L'analisi dei dati parte dal calcolo di medie e deviazioni standard per vedere se ci sono differenze tra i vari elementi in base al sesso, all'età e alla componente del reperto.

La media è un singolo valore numerico che descrive sinteticamente un insieme di dati.

La deviazione standard o scarto quadratico medio è un indice di dispersione delle misure sperimentali, ovvero fornisce una stima della variabilità dei dati analizzati.

I campioni provenienti dagli stessi individui e che differiscono per la natura del reperto, ossa, dentina e smalto, sono sottoposti ad analisi della varianza (ANOVA), per vedere se le eventuali differenze tra le concentrazioni sono significative. L'ANOVA permette di confrontare la variabilità interna a questi tre gruppi con la variabilità tra di loro. L'ipotesi nulla prevede che le differenze osservate siano solo dovute al caso e non siano quindi significative.

Il test post hoc LSD, cioè Fisher last significance difference, confronta tutte le medie, è utilizzato per l'individuazione delle differenze specifiche nell'ANOVA, in questo lavoro per capire quale delle tre componenti dei reperti si differenzia dalle altre.

L'ipotesi nulla prevede che per ogni coppia di medie la differenza tra queste sia pari a zero, l'alternativa che siano significativamente differenti.

Si impiega solamente dopo che il test F dell'ANOVA è significativo.

Una divergenza nei livelli dei vari elementi può essere spiegata a causa della composizione chimica differente di osso e dentina rispetto allo smalto e alla formazione completa e non più modificabile in età infantile di quest'ultimo. Bisogna inoltre, tenere conto di possibili contaminazioni da parte del terreno di giacitura, molto più probabili nelle ossa che nei composti dentari e della natura stessa degli elementi.

In casi eccezionali è stato, inoltre, utilizzato il test t di Student per confrontare due gruppi e vedere se sono significativamente differenti. L'ipotesi nulla in questo caso è che le medie dei due gruppi siano uguali.

2.2.6 Correzione e standardizzazione del dato

Le concentrazioni degli elementi in traccia cambiano da regione a regione, queste variazioni si ripercuotono nelle ossa rendendo problematico un confronto tra campioni provenienti da luoghi diversi e non necessariamente dello stesso periodo.

Due sono i metodi utilizzati al fine di rendere possibile un raffronto tra campioni diversi.

Elemento/Calcio

Il primo, ritenuto efficace al fine di limitare eventuali contaminazioni diagenetiche, consiste nel rapportare al calcio ogni elemento in traccia analizzato, presupponendo che ad un eventuale perdita o arricchimento del calcio corrisponda una deplezione o un assorbimento di pari entità dell'elemento ad esso rapportato. La tendenza del calcio a frequenti alterazioni diagenetiche potrebbe rendere complesso il raffronto con elementi non soggetti a questo tipo di modificazioni (Price e Kavanagh, 1982; Sillen e Kavanagh, 1982; Schoeninger, 1982).

Sr/Ca e Zn/Ca correlazione tra campioni umani e campioni animali

Altro metodo abitualmente utilizzato, prevede la correlazione fra i rapporti Sr/Ca e Zn/Ca del campione umano con quelli degli erbivori e dei carnivori vissuti contemporaneamente all'uomo nello stesso sito (Bisel, 1980). Con la cosiddetta "correzione con il sito", si dovrebbero poter correlare dati provenienti da gruppi anche lontani tra loro nello spazio e nel tempo. Le problematiche derivanti dal confronto tra i rapporti elemento/calcio (elemento diagenetico/elemento non diagenetico) possono potenzialmente accentuarsi nel confronto tra reperti umani e animali. Le ossa animali infatti sono caratterizzate da una matrice ossea più compatta e quindi meno soggetta ad alterazioni diagenetiche rispetto a quelle umane.

2.2.7 Comparazione dei dati

I valori ottenuti sono confrontati con un sito circa dello stesso periodo come quello di Roccapelago; con altri diacronici e eterotopici come alcuni individui con dieta vegana e le popolazioni artiche.

Roccapelago è interessante per una comparazione per la natura del reperto, per la similitudine del metodo utilizzato, per le abitudini dei suoi abitanti e per la posizione geografica situata su un versante dell'Appennino tosco-emiliano.

Il confronto con diete vegetariane o vegane, oltre a fornire un immediato inquadramento per la popolazione oggetto di studio può essere utile per la conformità del metodo utilizzato.

Il paragone con le popolazioni antiche è rilevante sia per la similitudine della natura del reperto che della metodologia utilizzata, ma anche per una collocazione dei campioni del presente lavoro.

3 RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 Risultati

Le ossa continuano ad interagire con l'ambiente circostante anche in seguito alla morte dell'individuo e alla sua successiva sepoltura. A seconda del terreno con cui entrano in contatto possono essere soggette ad alterazioni importanti ed essere distrutte rapidamente come nella deposizioni in terreni acidi, oppure essere conservate mantenendo quasi inalterate le proprie costituenti ed è il caso invece dei terreni basici che rientrano nella finestra di ricristallizzazione dell'idrossiapatite 7,6-8,1 (Berna *et al.*, 2004), oppure presentare una perdita proporzionale degli elementi del secondo gruppo (Ca, Sr, Mg) dovuta alla forte tendenza a legarsi con gli ioni OH⁻ presenti e alla fase di ricristallizzazione sempre più lenta man mano che aumenta il pH.

Il suolo in esame con il valore di 8,74, supera il pH di 8,5 e rientra nella classificazione dei terreni salini e sodici in cui sono presenti forti quantità di sali solubili e una minore disponibilità di microelementi (Kabata-Pendias e Pendias, 1985; Panero, 1985; Paul e Ladd, 1981).

3.1.1 Risultati delle analisi spettroscopiche

Nelle successive tabelle *o* sta per ossa, *d* per dentina e *s* per smalto.

campione ID	Ca (mg/g)	Sr (ppm)	Zn (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)
1) T1 US4	467	115	209	746	77	58	154	47
2) T6 ind 1	328	90	156	1596	7	32	6	98
3) T9 fase 2a ind 3 US24	351	169	246	868	34	88	42	66
4) T10 fase 6 bis	305	109	205	1048	33	829	464	49
5) T13 fase 4 ind 1	430	151	189	1446	15	48	10	64
6) T16 fase 4 ind 1	350	102	256	941	14	69	26	115
7) T18 fase 6 ind 1	341	112	336	1321	489	41	137	193
8) US 3382	309	159	174	1094	11	37	8	47
9) US 5407 ind 1	303	114	170	1133	12	31	19	77
10) US 5407 ind 2	318	132	137	1345	16	39	41	67
11) US 5461	295	115	157	770	17	61	7	45
12) US 3331 o	301	138	174	1088	16	102	23	18
13) US 3331 s	266	31	151	2541	4	23	6	17
14) US 3331 d	278	75	214	2218	8	36	4	24
15) US 3272 o	444	96	195	757	10	39	27	67
16) US 3272 s	252	30	148	2836	5	35	10	31
17) US 3272 d	277	69	209	2301	6	53	8	66
18) US 3343 o	332	119	171	1309	12	71	78	21
19) US 3343 s	278	35	116	2488	5	31	13	18
20) US 3343 d	282	98	199	2060	5	48	7	24
21) US 3189 s	283	25	131	3090	5	29	6	21
22) US 3189 d	274	77	194	2928	7	29	4	13
23) US 3374 s	483	33	159	2161	4	38	10	18
24) US 3374 d	280	95	209	1482	11	27	5	18
25) US 3172 M1 masc s	265	44	142	3037	5	24	15	19
26) US 3172 M1 masc d	277	86	180	3122	8	29	6	15
27) US 3172 M2 masc s	281	45	156	2595	5	36	14	17
28) US 3172 M2 masc d	271	120	195	2049	8	93	8	13
29) T9 fase 2a ind 2	310	131	259	1374	51	40	32	61
30) T11 fase 2ind 1 US19	673	142	215	1523	13	50	10	84
31) T13 fase 3 ind 2	326	154	167	1088	12	48	15	73
32) T15 fase B ind 1	302	153	206	1369	16	70	11	136
33) T15 ind 2	312	117	250	1228	61	67	124	75
34) US 5548	360	104	155	1845	9	94	11	31
35) US 3303 o	320	128	139	745	14	60	13	26
36) US 3303 s	266	44	134	2657	5	56	18	17
37) US 3303 d	278	103	220	2769	7	40	16	18
38) US 3133 s	268	24	110	3136	4	31	11	31
39) US 3133 d	271	27	246	5575	7	24	5	83
40) US 3350 M1 masc s	268	28	184	3267	5	37	19	22
41) US 3350 M1 masc d	268	71	247	3354	7	46	16	19
42) US 3350 M2 masc s	278	35	178	3355	5	34	27	21
42) US 3350 M2 masc d	282	75	230	3458	7	30	11	16
43) US 3350 incisivo s	285	35	197	3185	5	25	9	27
44) US 3350 incisivo d	283	78	230	3674	8	24	5	21
45) T2 US6 fase 6	325	96	171	1449	25	31	136	70
46) T14 ultima fase	734	88	582	1155	87	47	267	45
47) US 3268	301	129	134	797	13	149	66	27
48) US 3219 o	393	144	145	771	16	151	27	38
49) US 3219 s	276	28	165	2194	5	61	60	19
50) US 3219 d	274	32	210	6696	9	96	83	11
Range fisiologico medio	300	275	160	2650	20	114	14	50

Tab. 4 Valori assoluti degli adulti

campione ID	Ca (mg/g)	Sr (ppm)	Zn (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)
51) US 5464	321	120	164	715	17	51	10	36
52) US 3168	354	130	146	766	19	123	23	29
53) US 3341 o	376	114	177	925	17	194	19	22
54) US 3312 o	303	143	117	983	43	151	16	27
55) US 3316 o	365	126	113	697	18	108	11	23
56) US 3148 o	387	142	150	1076	20	85	9	24
57) US 3307 o	316	137	196	790	16	60	20	18
58) US 3307 s	282	45	143	2180	5	36	8	18
59) US 3307 d	273	79	168	2182	5	44	5	13
60) US 3357 o	287	85	124	1093	13	50	4	18
61) US 3357 M1 mand s	454	33	144	2357	5	38	33	9
62) US 3357 M1 mand d	292	79	199	1660	5	37	24	16
63) US 3357 M1 masc s	262	43	164	2014	5	68	28	20
64) US 3357 M1 masc d	416	72	229	1750	7	131	41	19
Range fisiologico medio	300	275	160	2650	20	114	14	50

Tab. 5 Valori assoluti dei bambini

campione ID	Ca (mg/g)	Sr (ppm)	Zn (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)
65) <i>Bos taurus</i> o	581	163	101	1789	43	114	109	32
66) <i>Bos taurus</i> s	356	110	61	1194	10	91	23	23
67) <i>Bos taurus</i> d	283	117	91	1094	11	144	31	22
Range fisiologico medio	300	450	120	2650	20	114	14	50
68) <i>Sus scrofa</i> s	328	129	59	2010	9	68	77	24
69) <i>Sus scrofa</i> d	307	188	134	1204	20	165	227	17
Range fisiologico medio	300	275	160	2650	20	114	14	50

Tab. 6 Valori assoluti della fauna

campione ID	Ca (mg/g)	Sr (ppm)	Zn (ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)
70) T1 US4 terra	27	42	520	4303	1785	3086	507	293
71) T9 fase 2a ind 3 US24 terra	79	121	209	3780	212	3035	519	127
72) T10 fase 6 bis terra	82	94	212	6347	93	2951	381	76
73) US 5548 terra	0	30	73	4807	32	3047	500	41
74) US 5464 terra	52	40	140	5818	89	3092	651	80
Range medio	-	500	60	20000	40	30000	1000	100

Tab. 7 Valori assoluti dei suoli

I valori ottenuti sono stati raggruppati, per ogni elemento, in vari grafici suddivisi in base alla natura del reperto, al sesso e all'età con lo scopo di evidenziare graficamente eventuali discostamenti dei valori dal range fisiologico e valutare l'andamento delle concentrazioni nei vari componenti del reperto rispetto a questo.

Calcio



Grafico 1 Calcio: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui

I livelli di calcio nelle ossa e dei composti dentari rientrano nel range fisiologico, ad esclusione dell'ossa di *Bos taurus*.

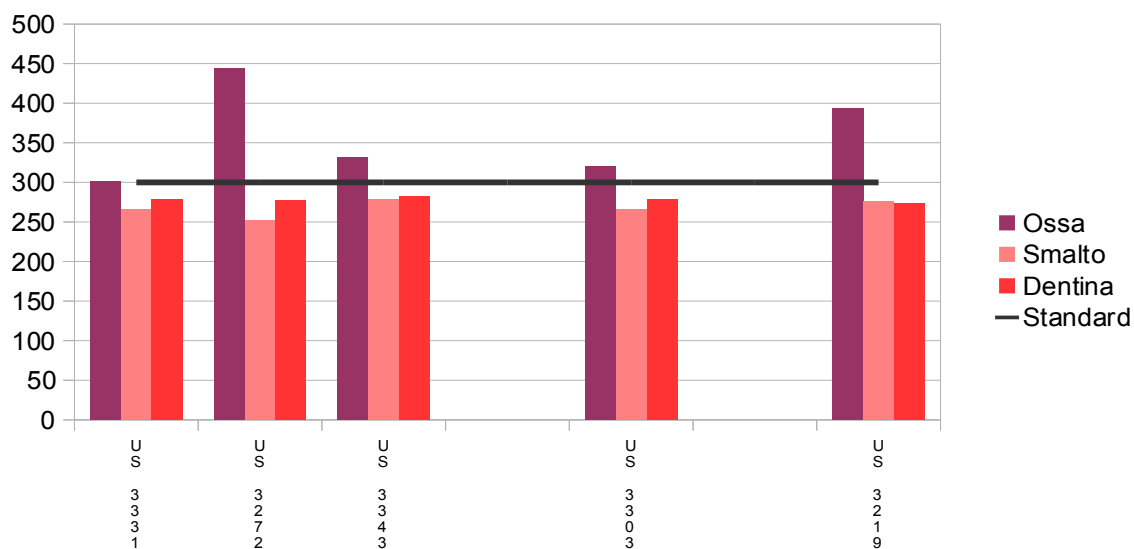


Grafico 2 Calcio: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui adulti

Il calcio degli adulti è maggiore nelle ossa rispetto ai composti dentari e non si rilevano particolari differenze tra maschi, femmine e indeterminati.

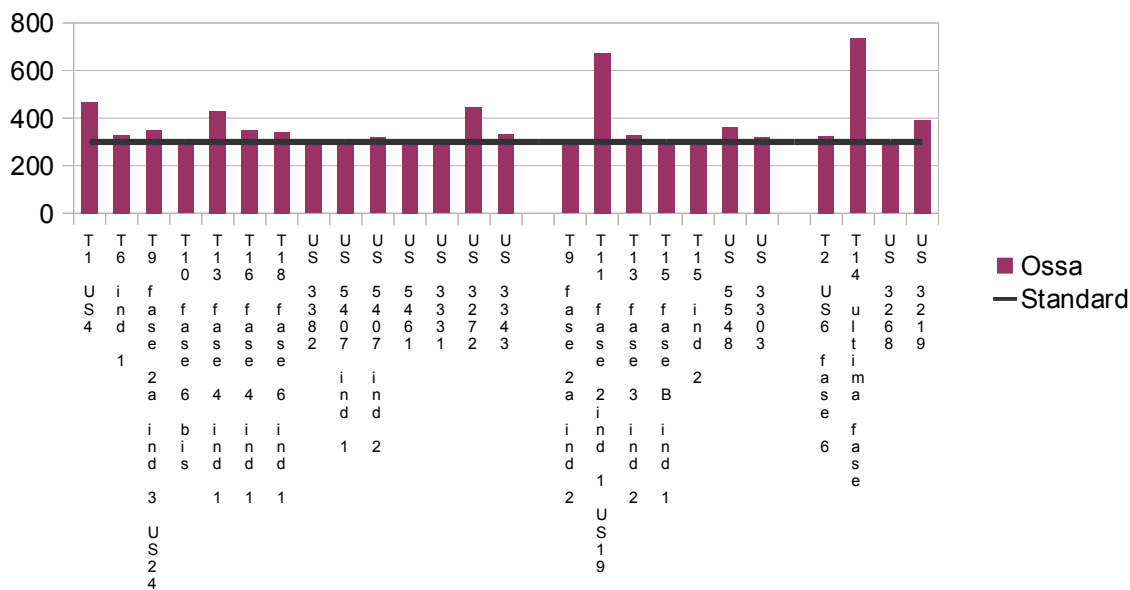


Grafico 5 Calcio: ossa di individui adulti

Negli adulti non si osservano sostanziali differenze ad esclusione dell'individuo femminile della tomba T11 fase 2 ind 1 US 19 e dell'indeterminato T14 ultima fase.

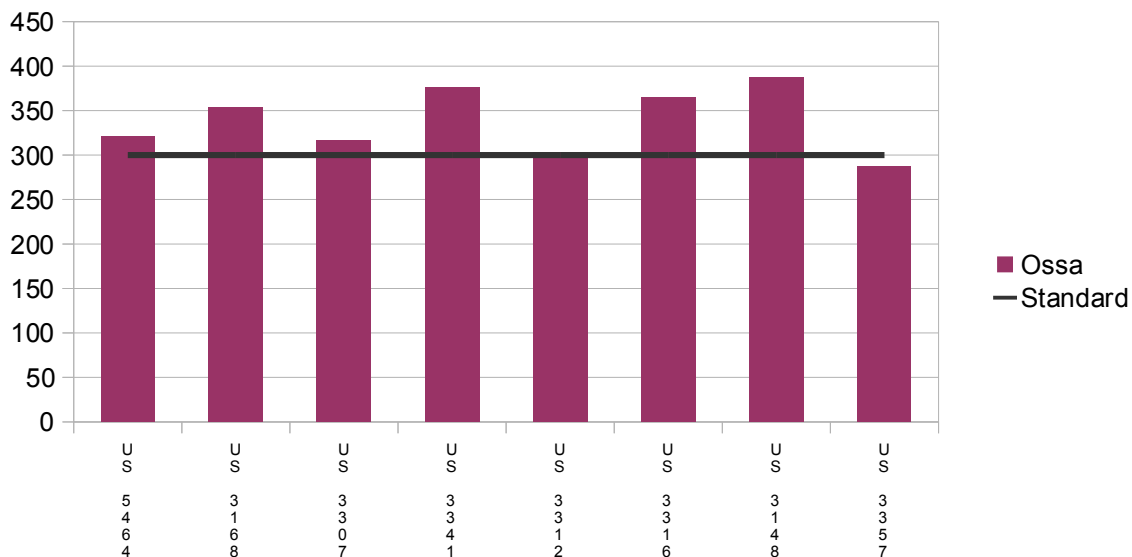


Grafico 6 Calcio: ossa dei bambini

Nelle ossa dei bambini non si osservano sostanziali differenze nei livelli di calcio.

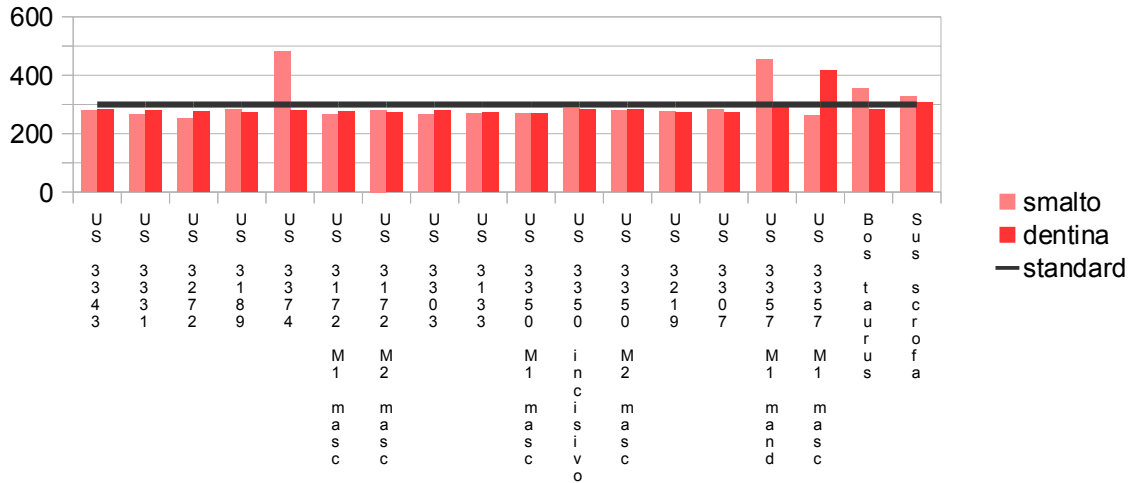


Grafico 7 Calcio: denti

Nei denti il calcio risulta piuttosto omogeneo nelle due componenti dentarie ad esclusione dello smalto dell'individuo della US 3374 e del M1 mandibolare della US 3357, mentre di quest'ultimo risulta alto nella dentina.

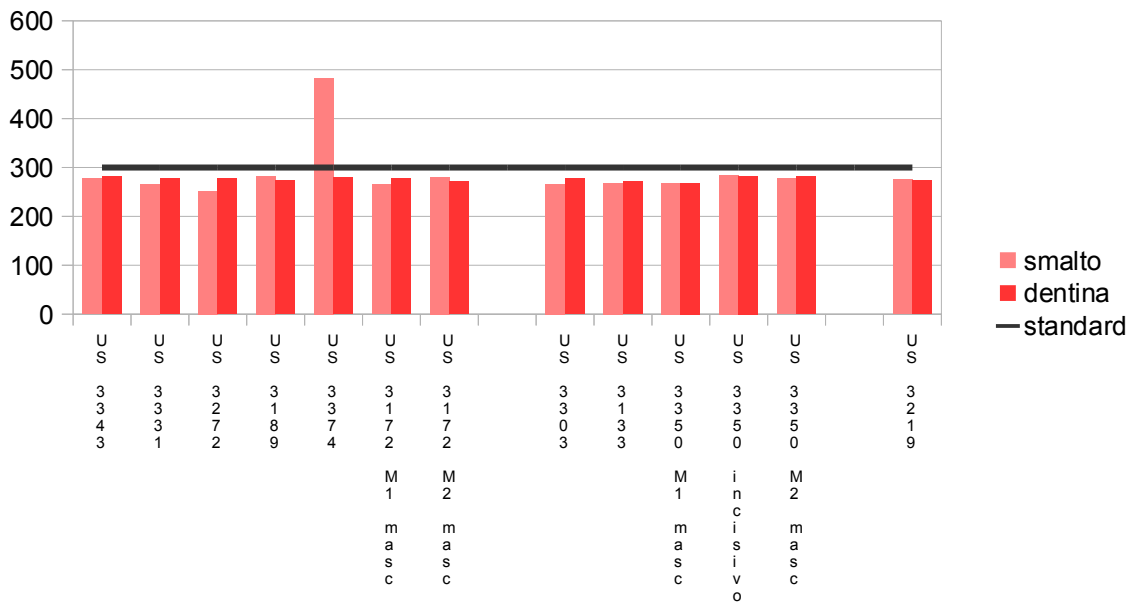


Grafico 8 Calcio: denti di individui adulti

Non si riscontrano sostanziali differenze nei livelli di calcio tra maschi, femmine e indeterminati, a esclusione dello smalto dell'individuo della US 3374.

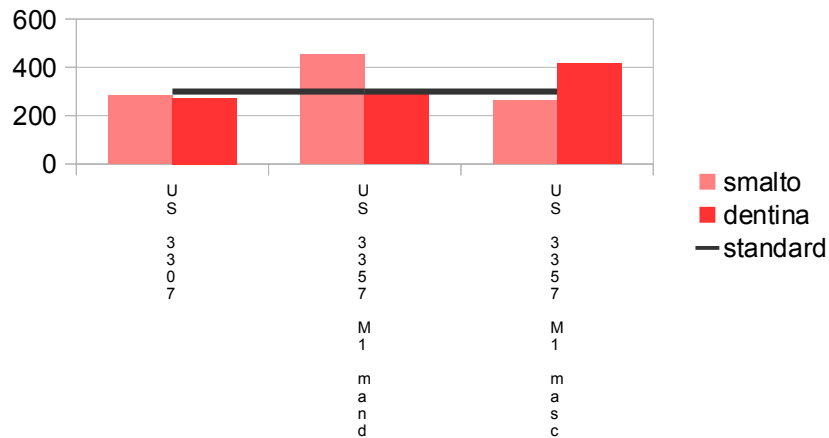


Grafico 9 Calcio: denti dei bambini

Il calcio nei denti del bambino della US 3307 è omogeneo mentre risultano dei picchi nello smalto del M1 mandibolare della US 3357 e nella dentina del M1 mascellare di quest'ultimo.

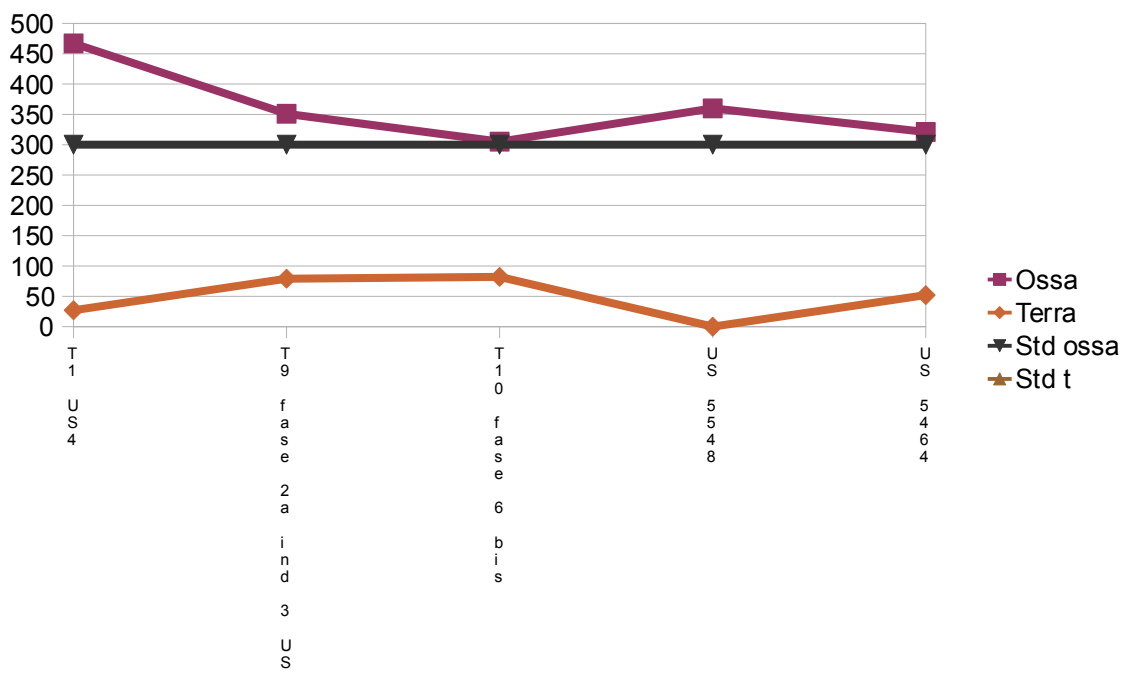


Grafico 10 Calcio: terreno

Non è presente il range del suolo poichè dipende dalla tipologia di terreno, il calcio non è presente in livelli sostanziali.

Stronzio

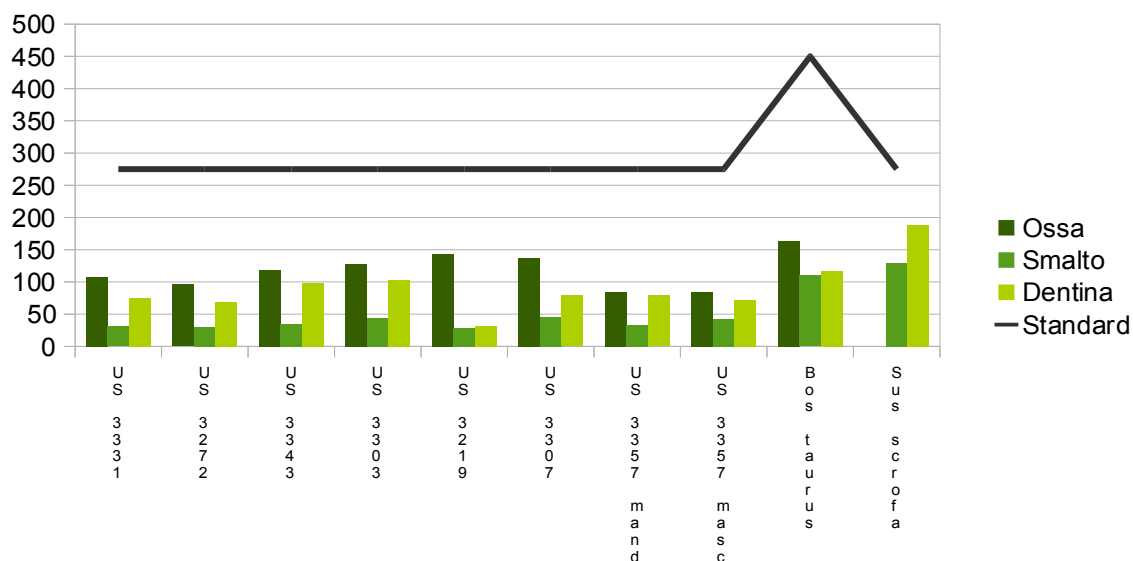


Grafico 11 Stronzio: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui

I livelli di stronzio sono relativamente più bassi rispetto al range fisiologico atteso, l'andamento tra le varie componenti è piuttosto omogeneo, con la concentrazione più alta nelle ossa rispetto alla dentina e ancor di più rispetto allo smalto.

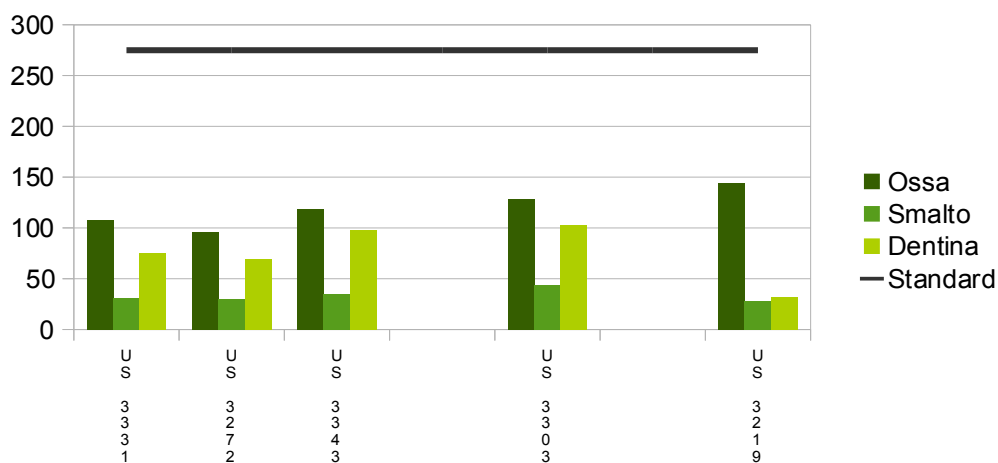


Grafico 12 Stronzio: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui adulti

Il livelli sono sostanzialmente più bassi del range, soprattutto nei composti dentari, non si osservano sostanziali differenze tra maschi, femmine e determinati.

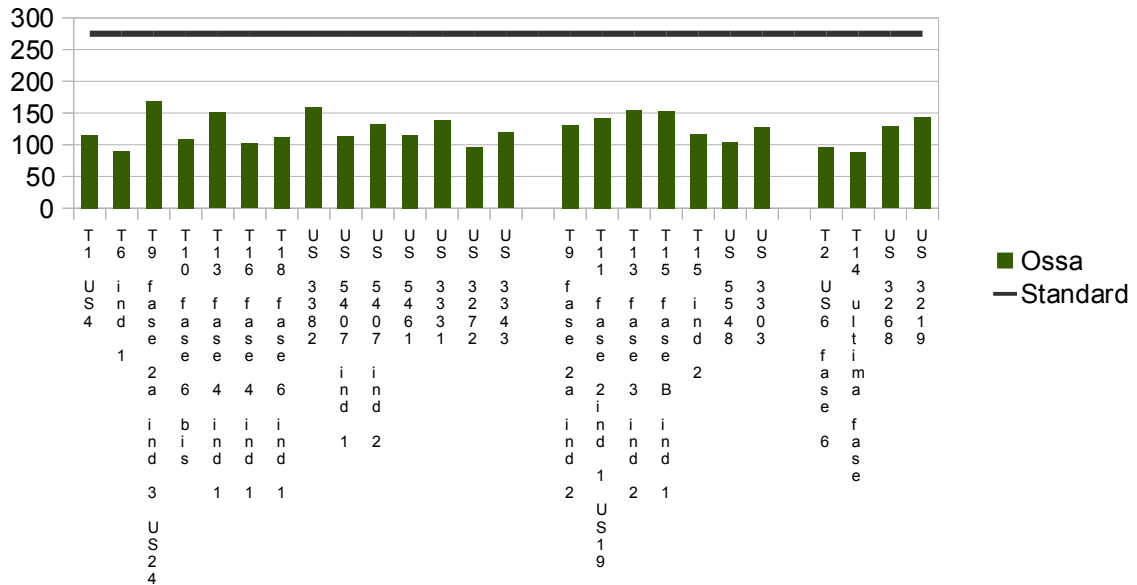


Grafico 15 Stronzio: ossa degli individui adulti

Il livello negli individui adulti è più basso del range e non si riscontrano sostanziali differenze tra maschi, femmine e indeterminati.

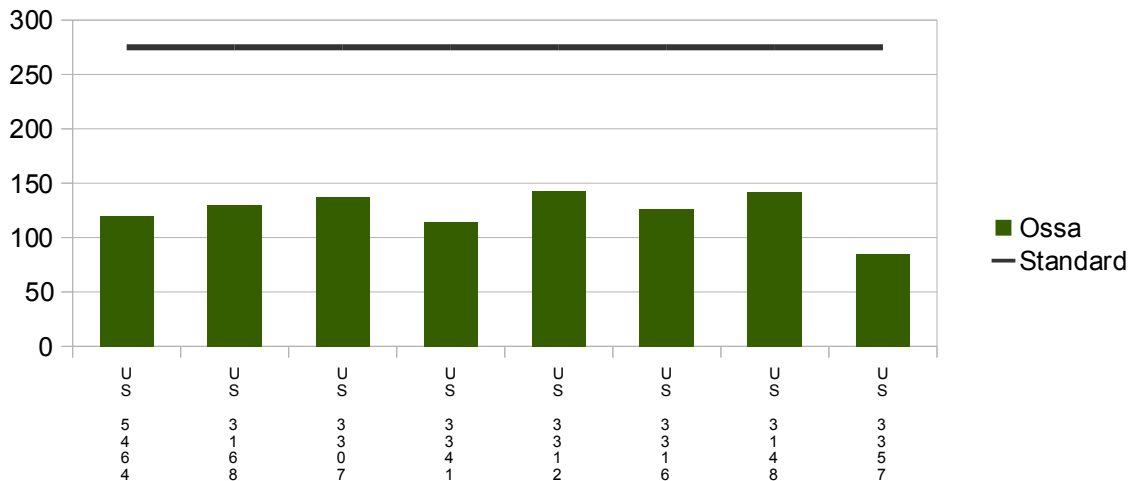


Grafico 16 Stronzio: ossa dei bambini

I livelli dello stronzio nelle ossa dei bambini è omogeneo e più basso rispetto al range fisiologico atteso.

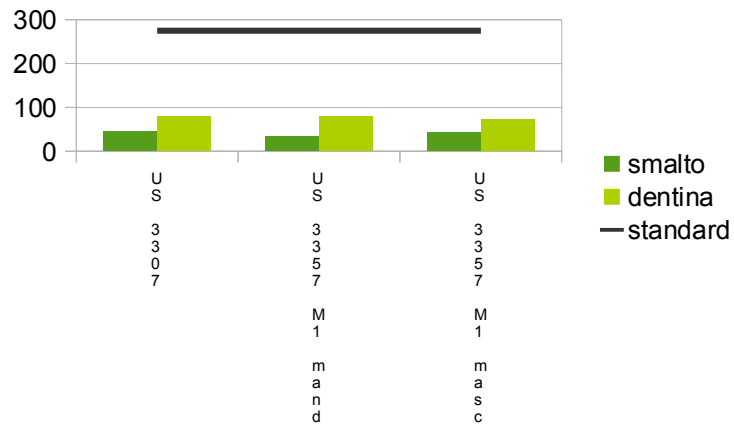


Grafico 19 Stronzio: denti dei bambini

Lo stronzio nei bambini si presenta omogeneo, più basso del range fisiologico e nello smalto rispetto alla dentina.

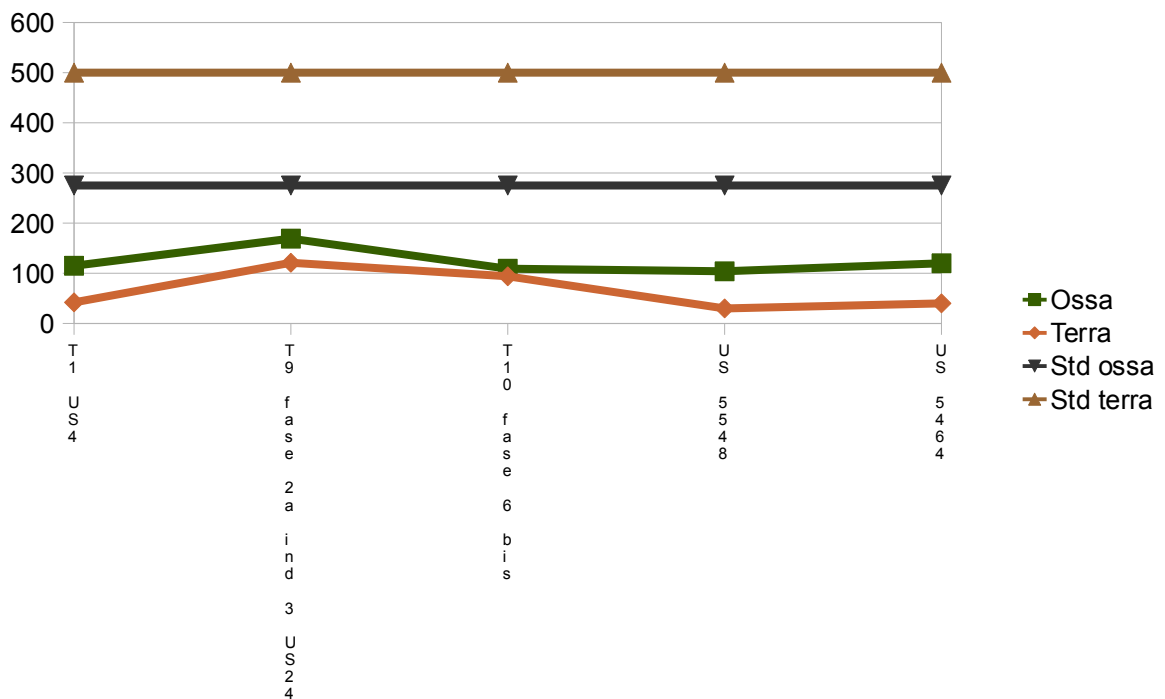


Grafico 20 Stronzio: terreno

Lo stronzio nel terreno è più basso della concentrazione media attesa, si nota una certa coerenza tra i livelli nelle ossa che quello nel suolo.

Zinco

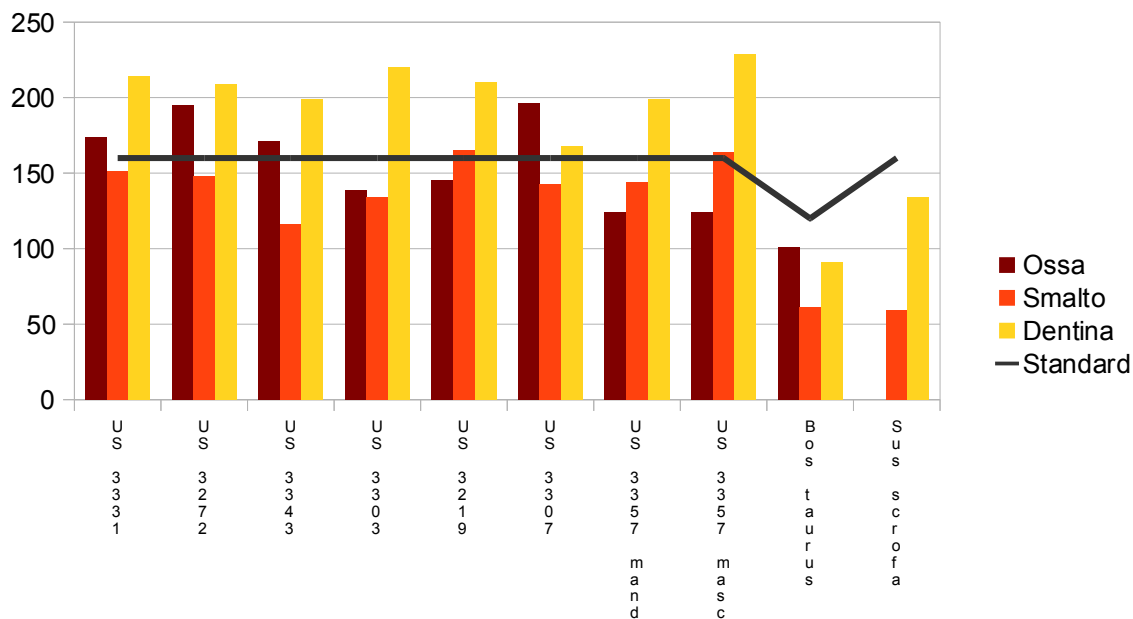


Grafico 21 Zinco: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui

Le concentrazioni di zinco presentano una certa variabilità e differenza tra i vari componenti, con livelli più bassi nel *Bos taurus*, nello smalto sono inferiori rispetto agli altri reperti e sono maggiori nella dentina.

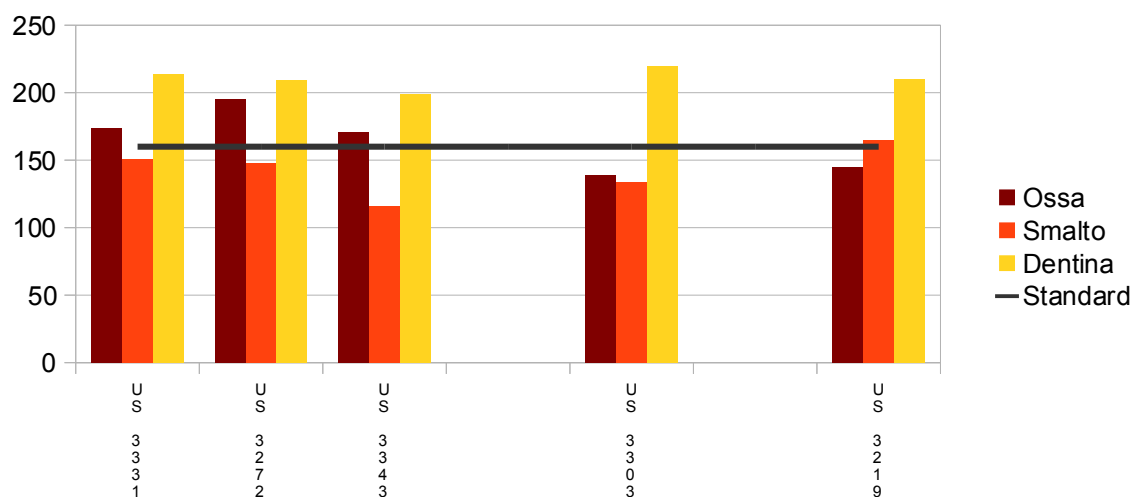


Grafico 22 Zinco: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui adulti

Nella femmina della US 3303 si osserva un'andamento più coerente tra smalto e ossa, mentre nell'indeterminato della US 3219 lo smalto supera l'osso.

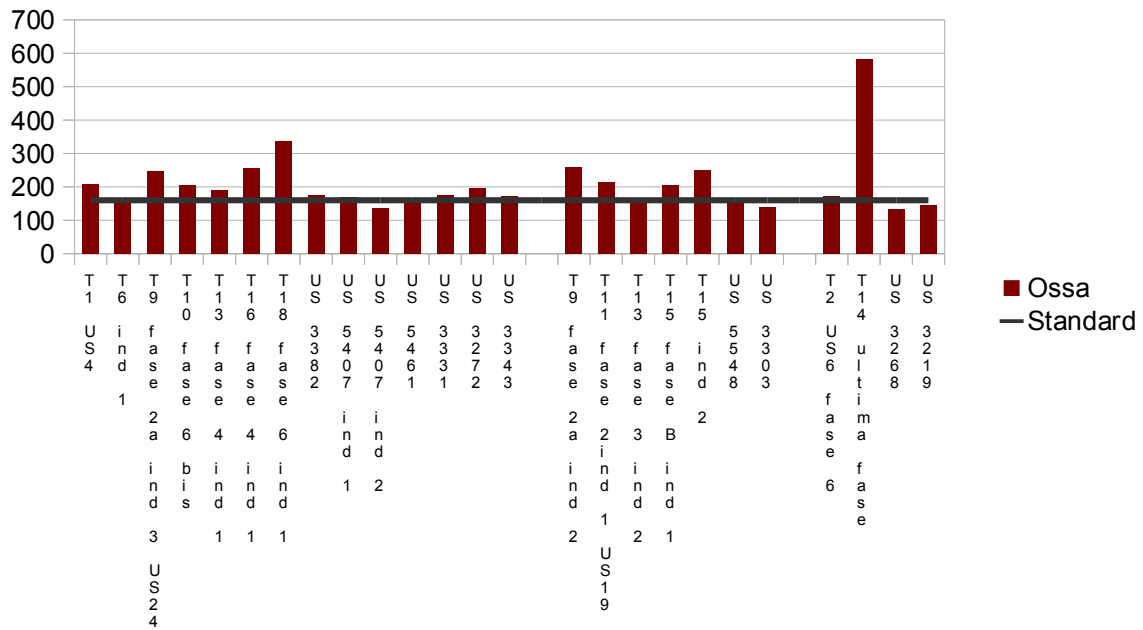


Grafico 25 Zinco: ossa degli individui adulti

Non si osservano notevoli differenze tra gli individui adulti, ad eccezione del maschio T18 fase 6 ind 1 e dell'indeterminato T14 ultima fase.

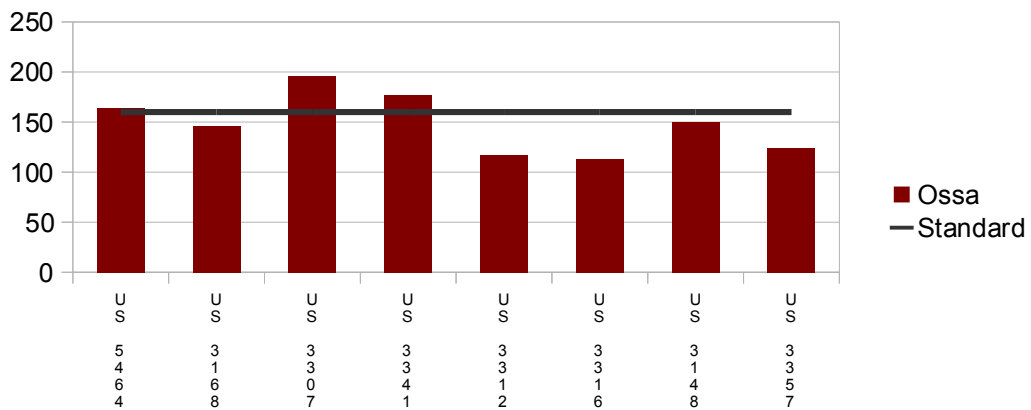


Grafico 26 Zinco: ossa dei bambini

Nei bambini lo zinco rispetta gli estremi del range fisiologico con una certa variabilità nei vari individui.

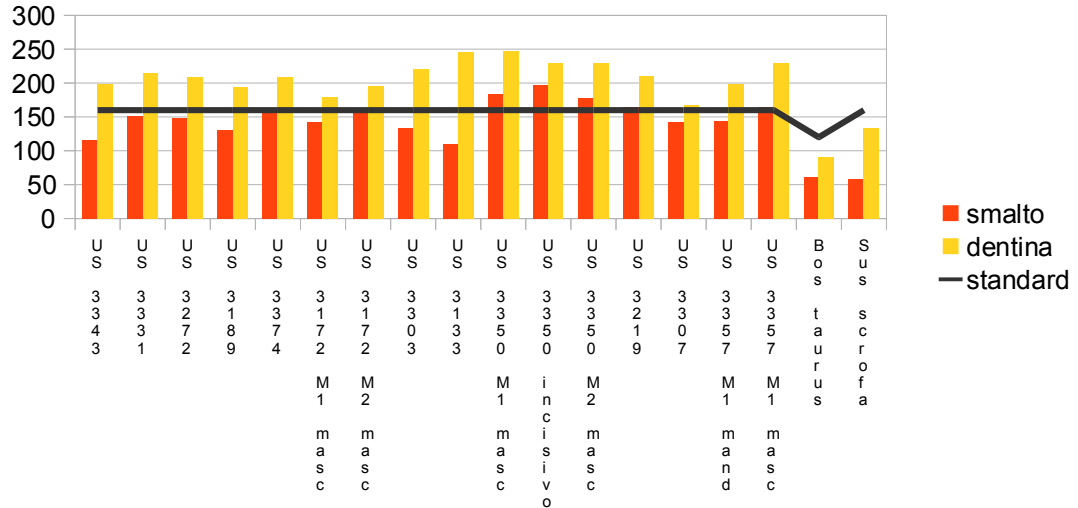


Grafico 27 Zinco: denti

L'andamento delle componenti dentarie è simile con una differenza di concentrazione all'interno dello stesso individuo, ovvero lo smalto più basso della dentina e quest'ultima sempre più alta dello standard. Anche negli animali l'andamento è lo stesso.

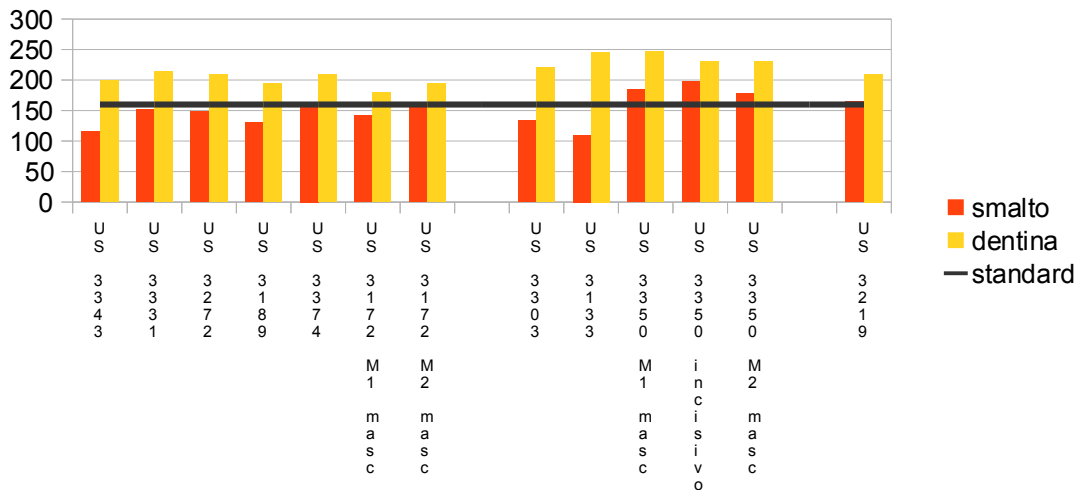


Grafico 28 Zinco: ossa degli individui adulti

Non si osservano sostanziali differenze tra maschi, femmine e indeterminati, la dentina è sempre in concentrazioni più alte rispetto allo smalto.

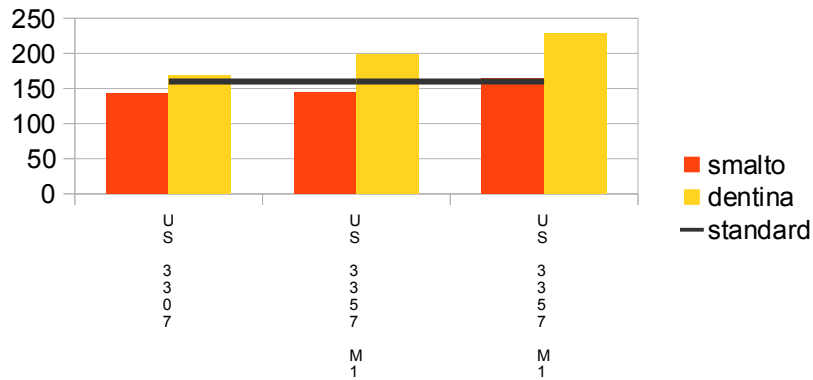


Grafico 29 Zinco: ossa dei bambini

L'andamento nelle componenti dentarie nei bambine rispetta il range fisiologico e l'andamento degli adulti con la concentrazione di zinco nella dentina maggiore che nello smalto.

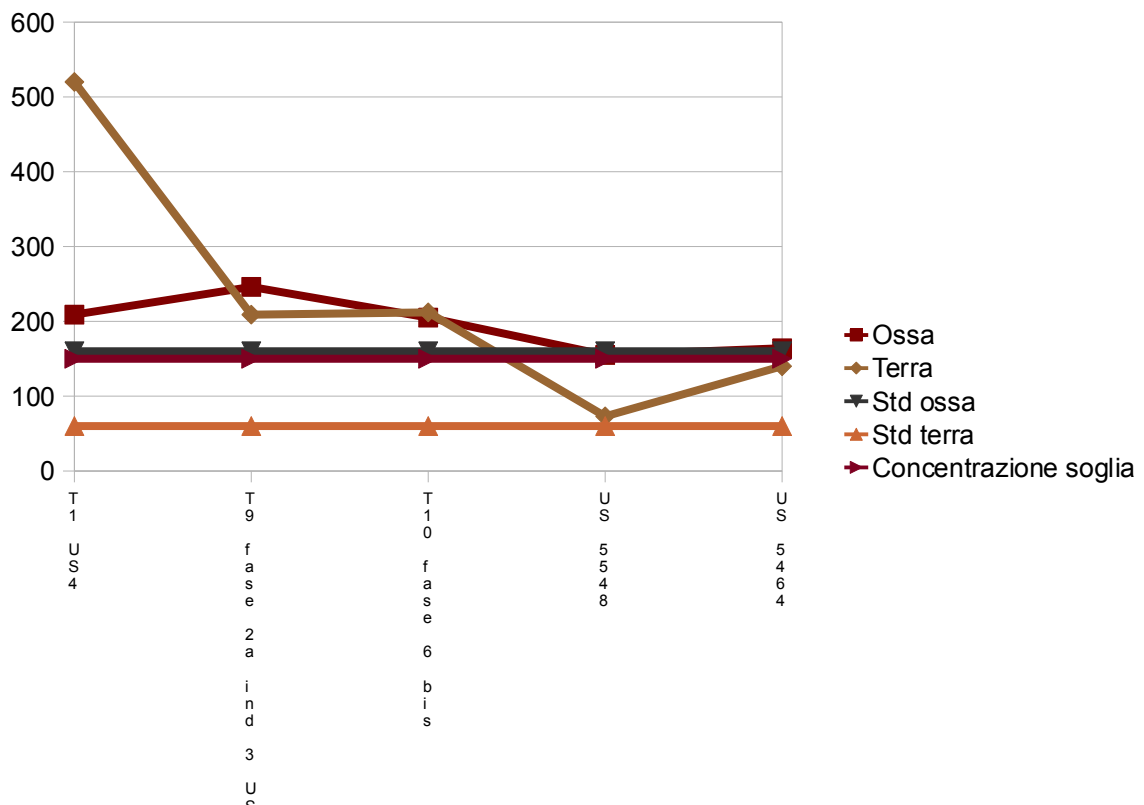


Grafico 30 Zinco: terreno

Lo zinco nel suolo è sempre maggiore dello standard di riferimento e in tre campioni supera addirittura la concentrazione soglia.

Magnesio

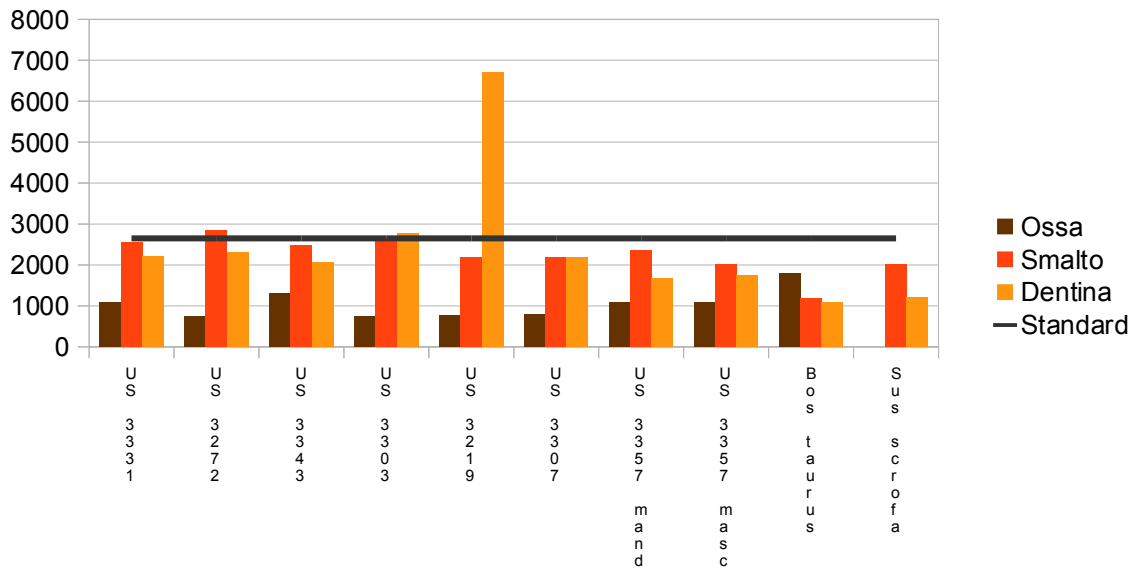


Grafico 31 Magnesio: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui

Le concentrazioni di magnesio sono più basse nelle ossa rispetto allo smalto che rispetta l'andamento della dentina, ad eccezione dell'individuo della US 3219.

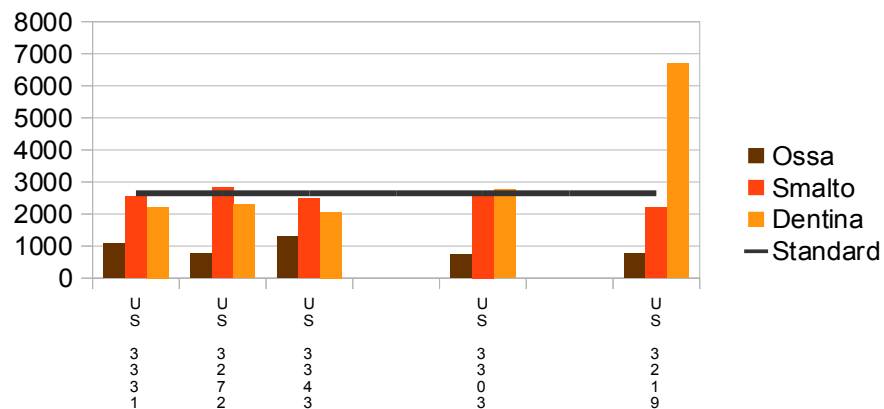


Grafico 32 Magnesio: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui adulti

I livelli di magnesio negli adulti sono sotto il range fisiologico per quanto riguarda le ossa, mentre nelle componenti dentarie si osserva nei maschi una concentrazione maggiore nello smalto rispetto alla dentina, a differenza nella femmina (US 3303) e nell'indeterminato (US 3219); quest'ultimo presenta un picco del magnesio presente nella dentina.

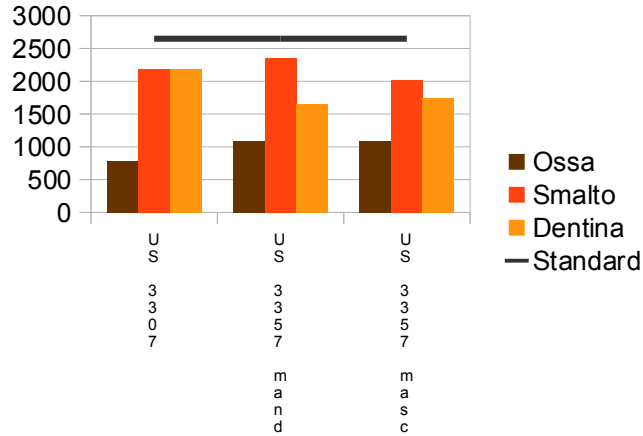


Grafico 33 Magnesio: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi bambini

Nei bambini il magnesio si presenta basso nelle ossa, maggiore nello smalto rispetto alla dentina.

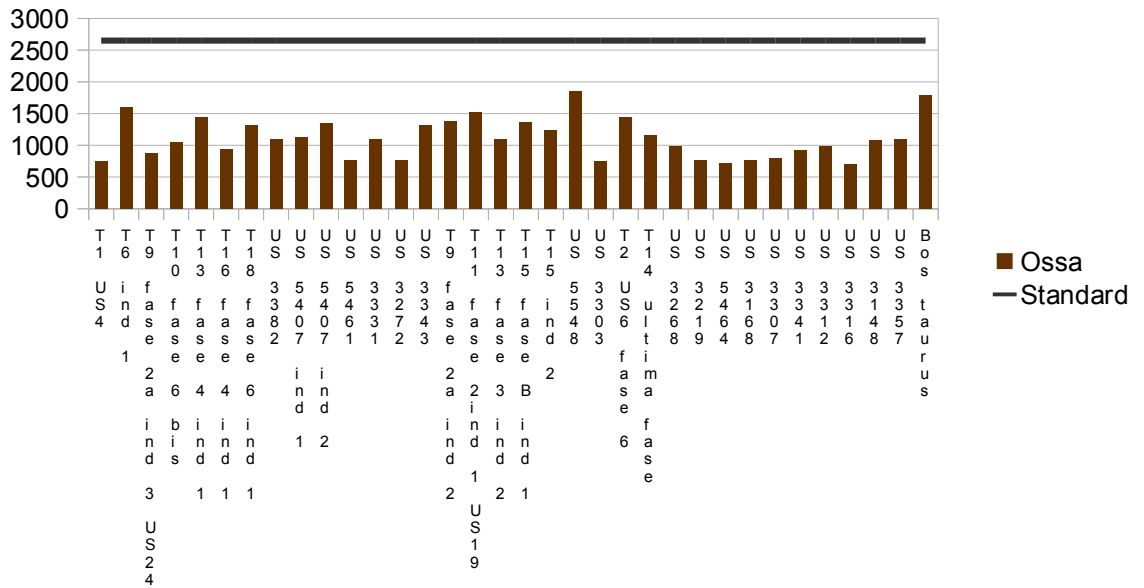


Grafico 34 Magnesio: ossa

Negli adulti c'è una certa variabilità nella concentrazione di magnesio delle ossa, ma sempre inferiore al range fisiologico di riferimento.

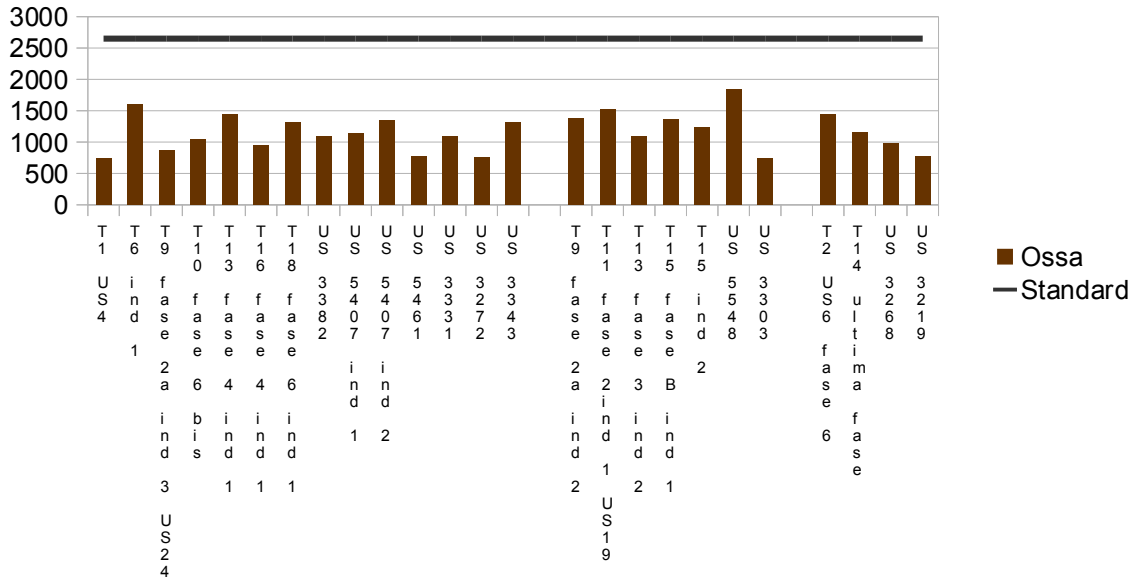


Grafico 35 Magnesio: ossa degli individui adulti

Pur essendo presente una certa variabilità non si osservano differenze sostanziali tra maschi, femmine e indeterminati.

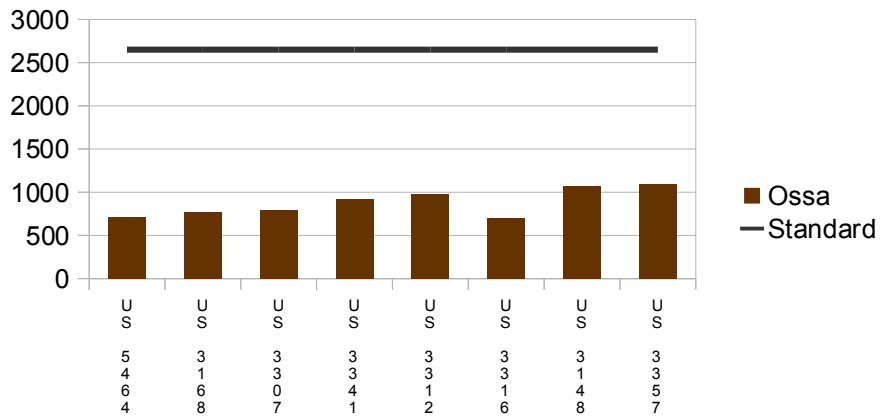


Grafico 36 Magnesio: ossa dei bambini

I livelli nelle ossa dei bambini sono inferiori al range fisiologico, rispecchiando l'andamento negli adulti.

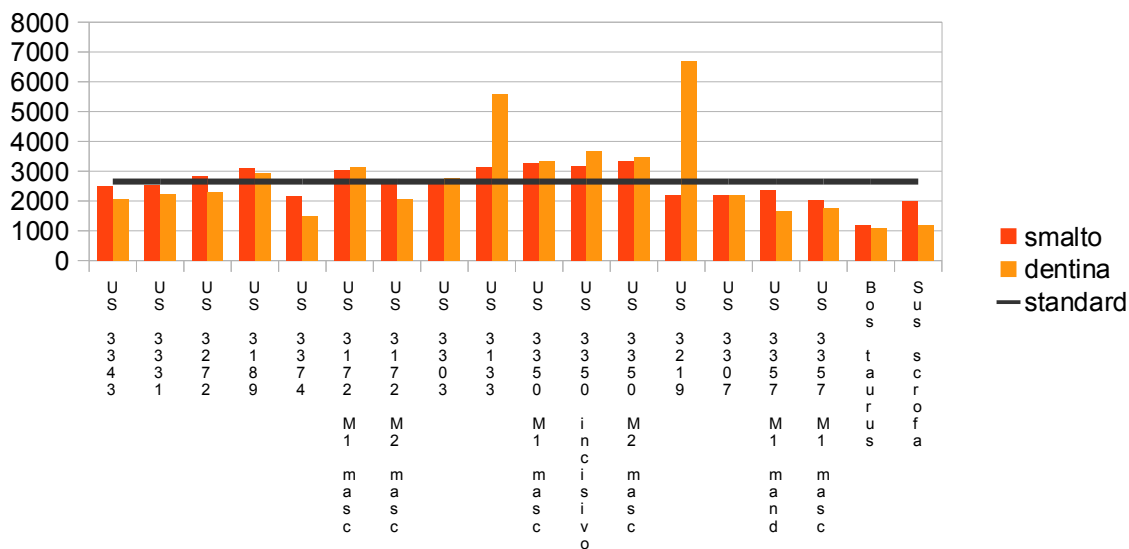


Grafico 37 Magnesio: denti

Le concentrazioni di magnesio nelle componenti dentarie si presentano estremamente variabili, rispettando l'andamento tra di loro, ovvero dove il livello è basso nello smalto si presenta basso anche nella dentina, ad eccezione degli individui delle US 3133 e US 3219.

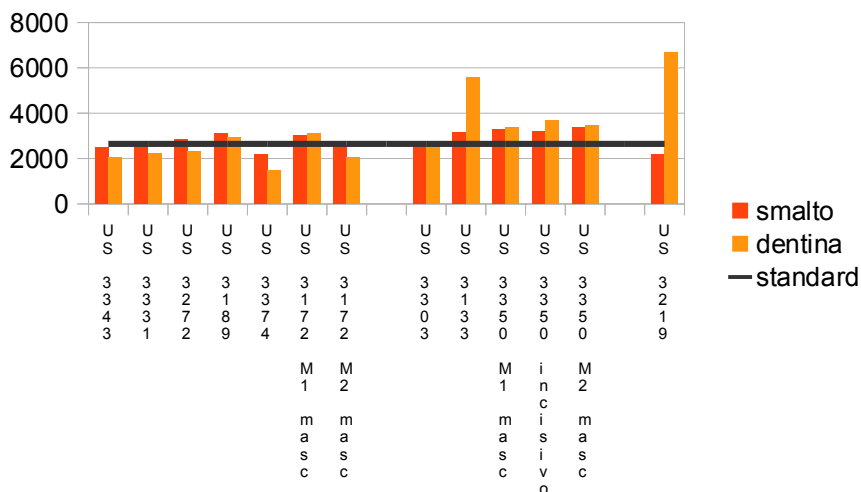


Grafico 38 Magnesio: denti degli individui adulti

Nei maschi la concentrazione di magnesio è minore nella dentina rispetto allo smalto, invertendo questa tendenza nelle femmine e nell'indeterminato.

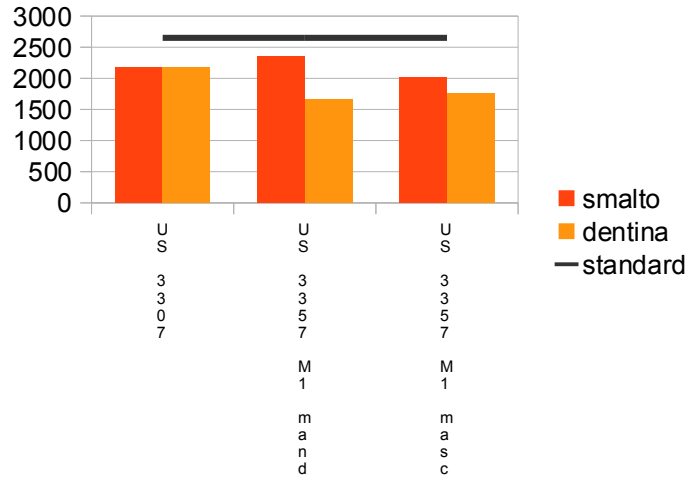


Grafico 39 Magnesio: denti dei bambini

Nei bambini il livello di magnesio nei denti rispetta il range fisiologico.

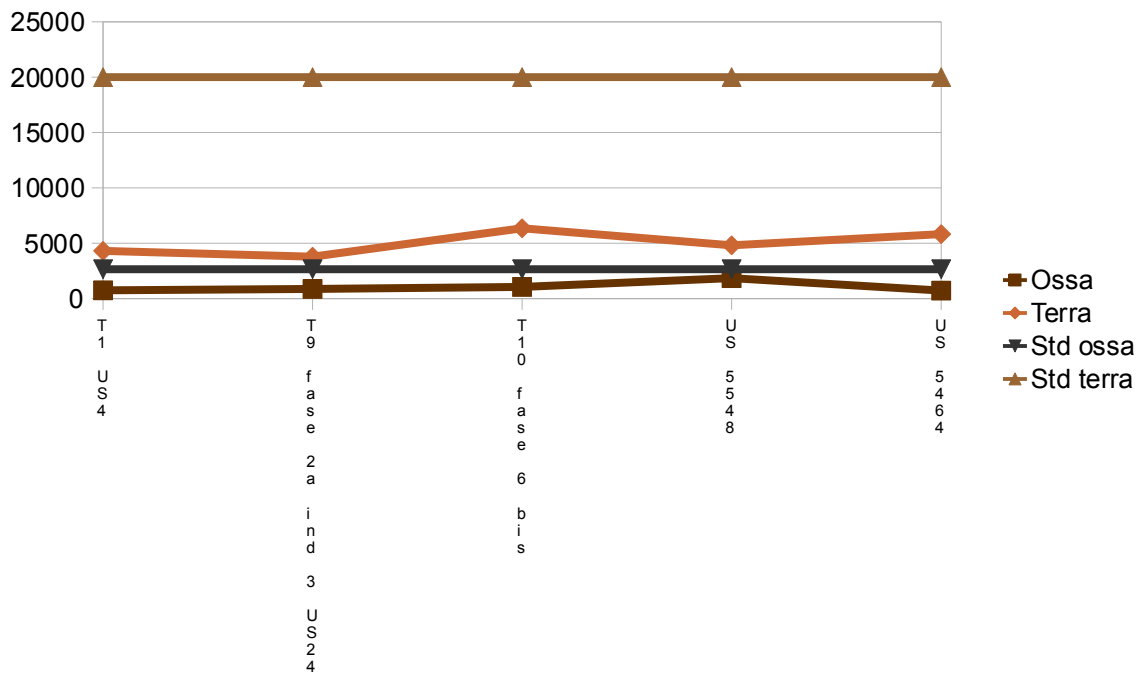


Grafico 40 Magnesio: terreno

Il livello di magnesio nel terreno si presenta molto inferiore rispetto allo standard di riferimento.

Rame

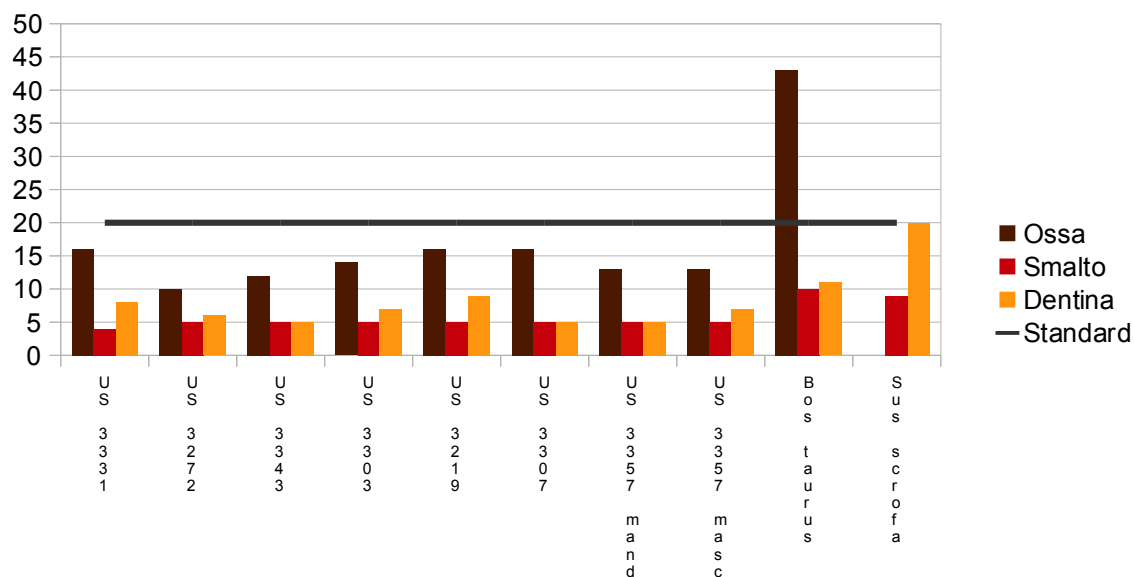


Grafico 41 Rame: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui

I livelli di rame sono inferiori nelle tre componenti rispetto allo standard di riferimento, ad eccezione dell'osso del *Bos taurus*.

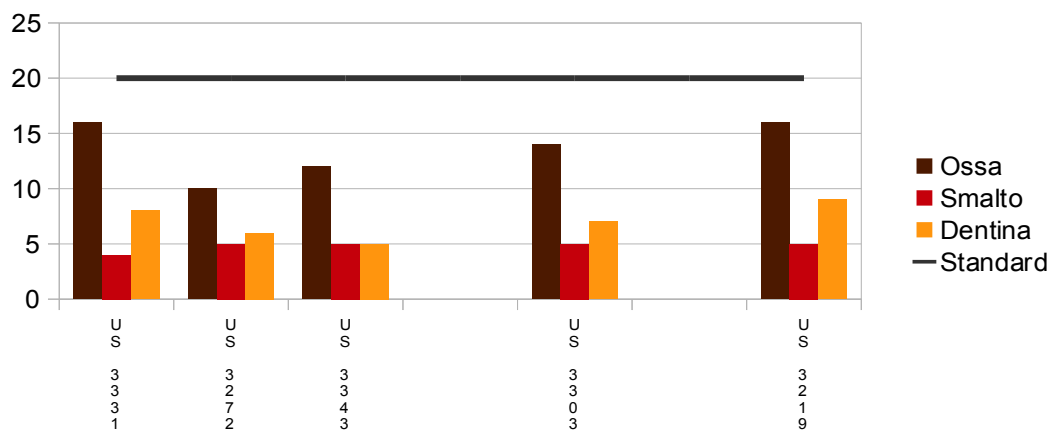


Grafico 42 Rame: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui adulti

Non si riscontrano differenze tra maschi, femmine e indeterminati, le concentrazioni sono presenti in livelli bassi nelle ossa, maggiori rispetto alla dentina e a sua volta maggiori che nello smalto

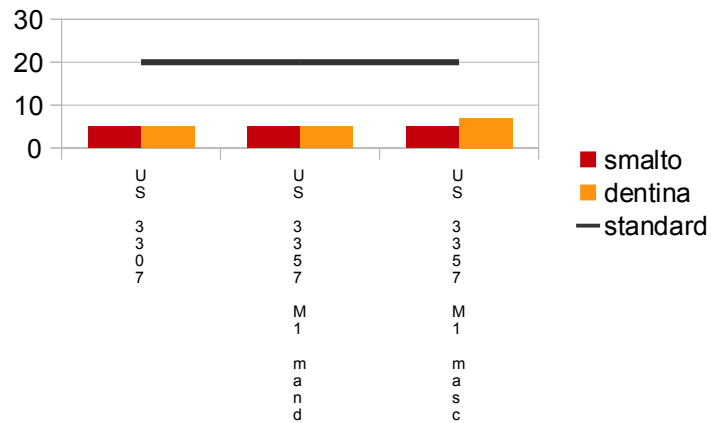


Grafico 49 Rame: denti dei bambini

I livelli di rame nei denti dei bambini sono inferiori allo standard di riferimento.

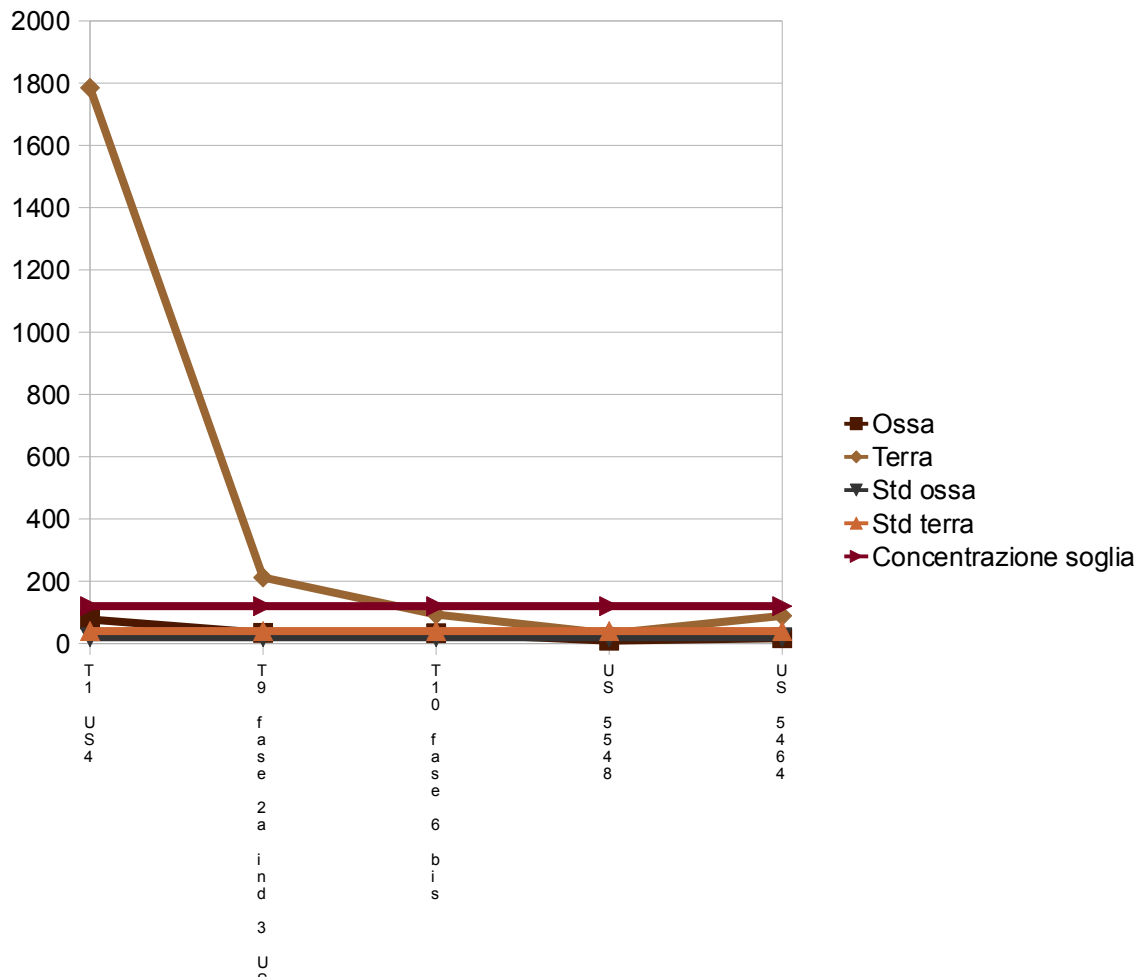


Grafico 50 Rame: terreno

Il rame nel suolo è superiore al range, in un campione supera la concentrazione soglia con un livello molto alto.

Ferro

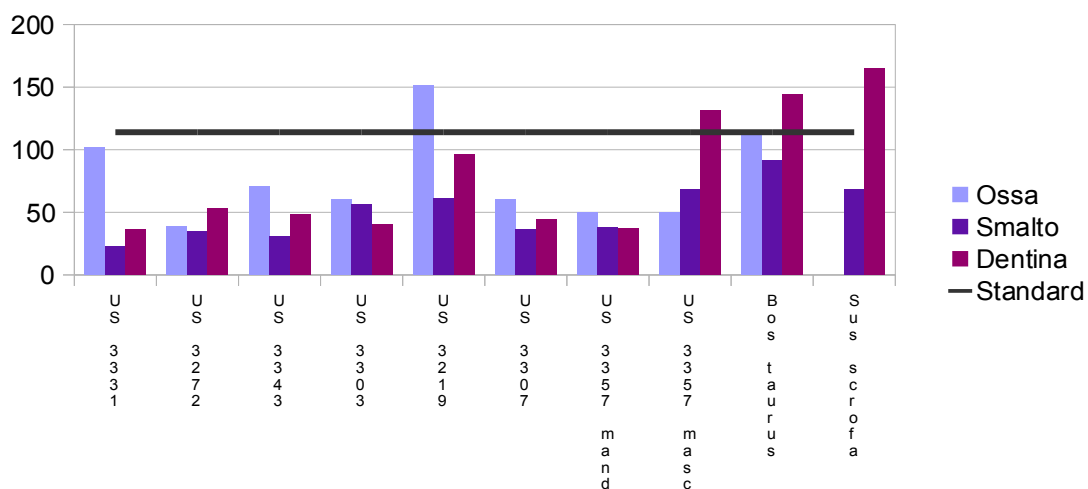


Grafico 51 Ferro: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui

I livelli di ferro sono molto variabili, l'andamento nelle tre componenti tende ad essere più basso nello smalto, nella dentina e infine nelle ossa. Per la maggior parte la concentrazione è inferiore al range fisiologico.

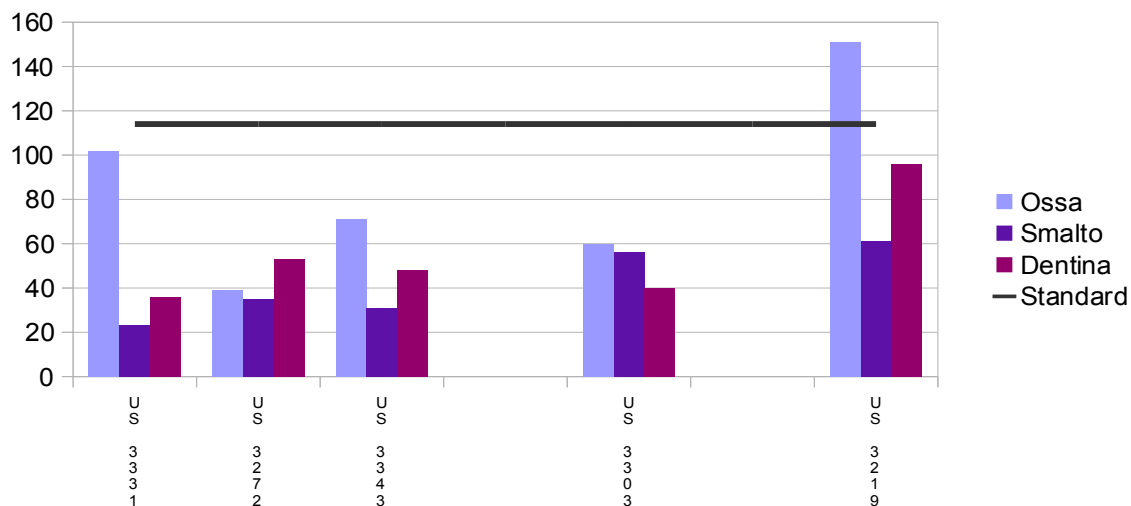


Grafico 52 Ferro: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui adulti

Le concentrazioni di ferro sono maggiori nelle ossa, rispetto a smalto e dentina, senza sostanziali differenze tra maschi e femmine.

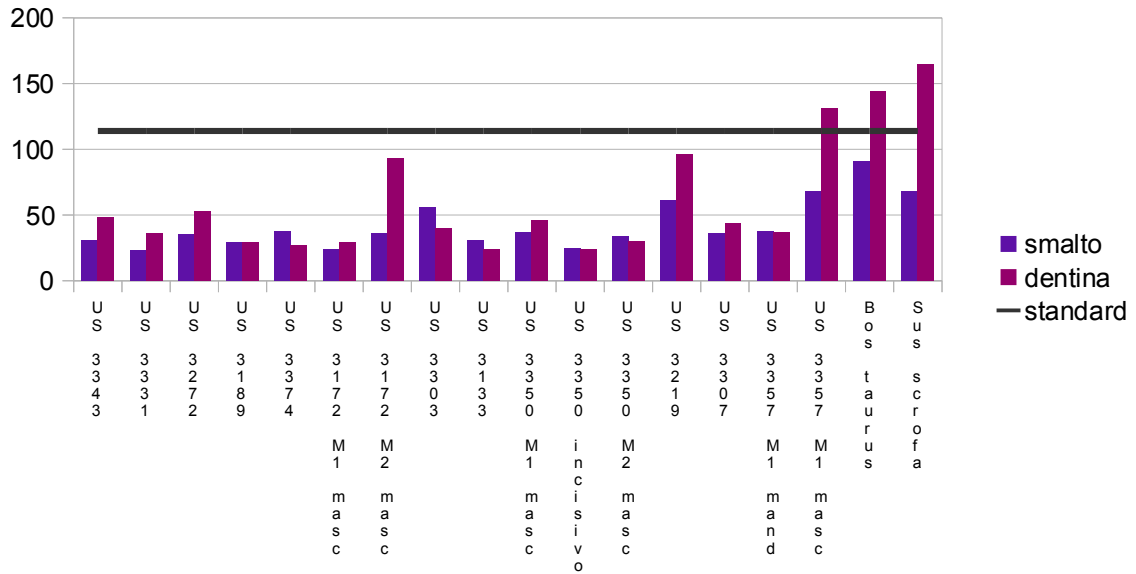


Grafico 57 Ferro: denti

Il ferro nella dentina rispecchia l'andamento dello smalto all'interno dello stesso individuo, con livelli inferiori al range fisiologico ad eccezione dello smalto di M1 mascellare dell'individuo della US 3357 e dello smalto della fauna.

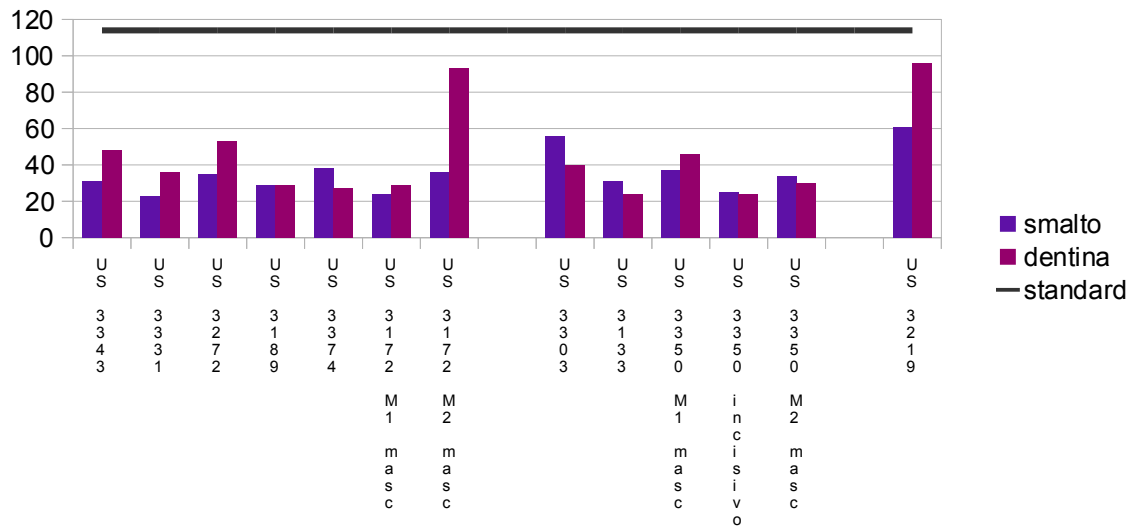


Grafico 58 Ferro: denti degli individui adulti

Le concentrazioni di ferro negli adulti presentano una notevole variabilità, sia tra maschi, femmine e l'individuo indeterminato, nella maggior parte presentano una differenza tra i livelli dello smalto e quelli della dentina.

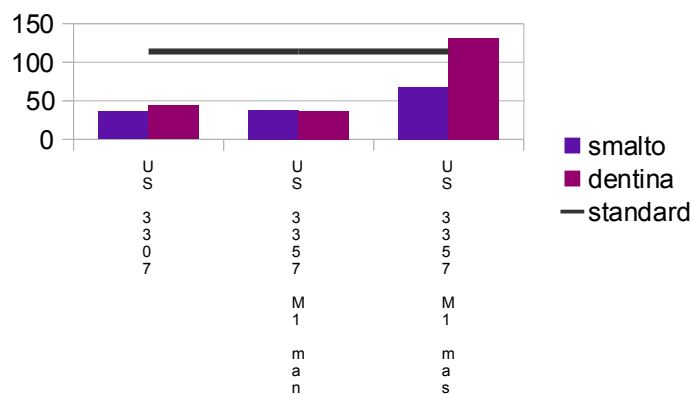


Grafico 59 Ferro: denti dei bambini

Il ferro nei denti dei bambini è presente in basse concentrazioni, ad eccezione dello smalto del M1 mascellare dell'individuo della US 3357.

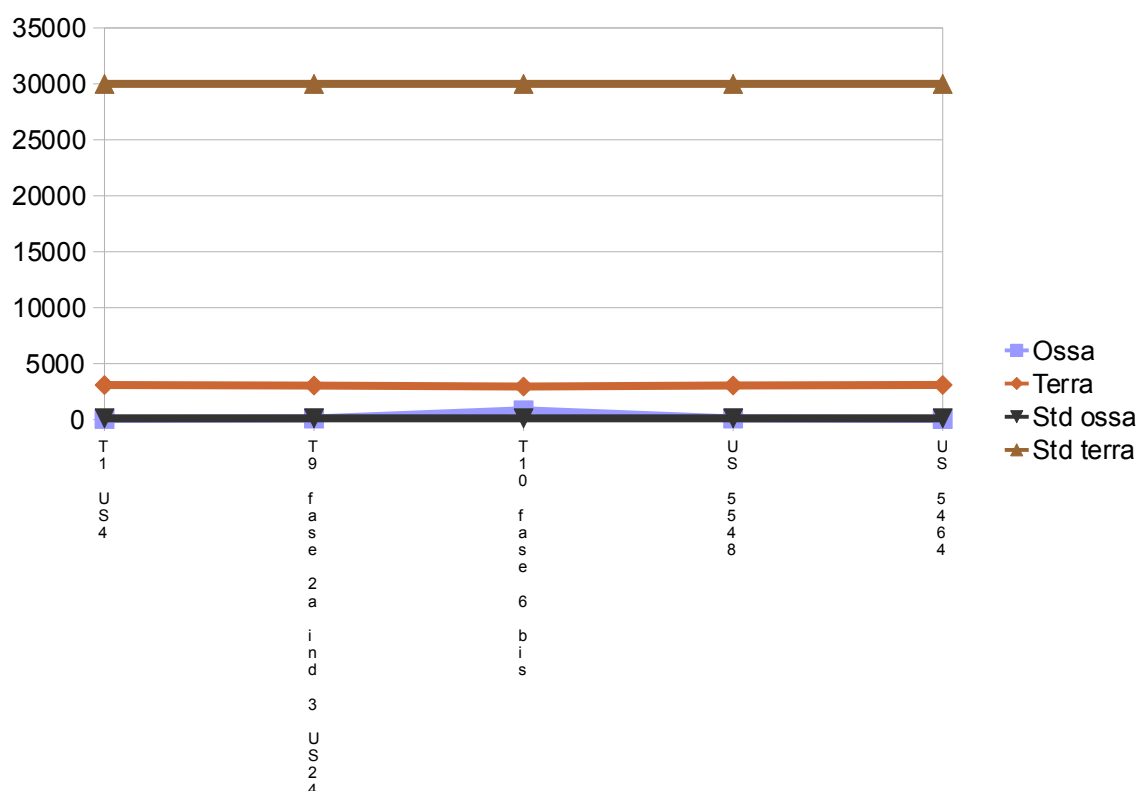


Grafico 60 Ferro: terreno

Il ferro nei vari campioni di suolo si presenta in una concentrazione omogenea ma inferiore rispetto al range di riferimento.

Manganese

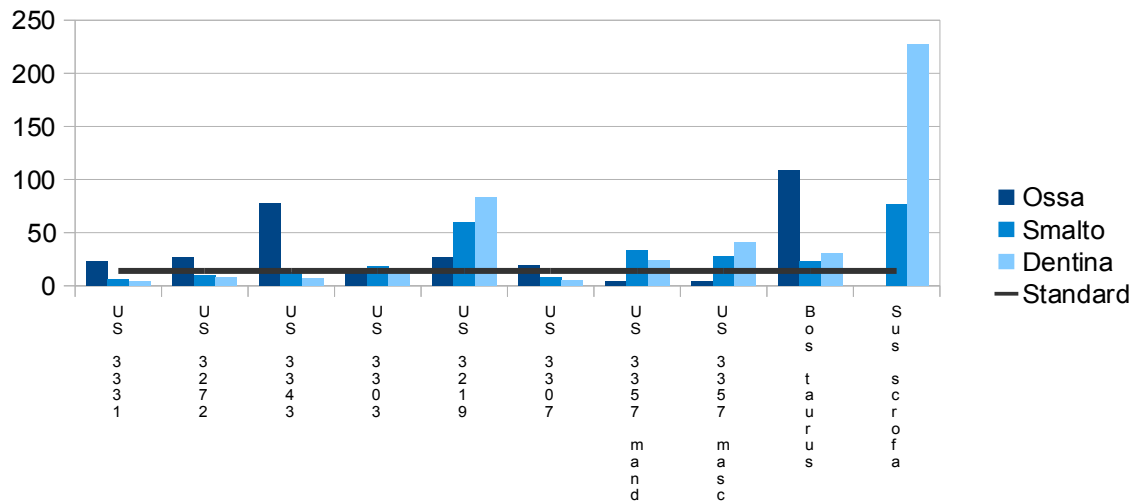


Grafico 61 Manganese: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui

Il manganese si presenta in concentrazioni molto variabili in tutte le componenti dei reperti, con un livello molto alto nella dentina del *Sus scrofa*.

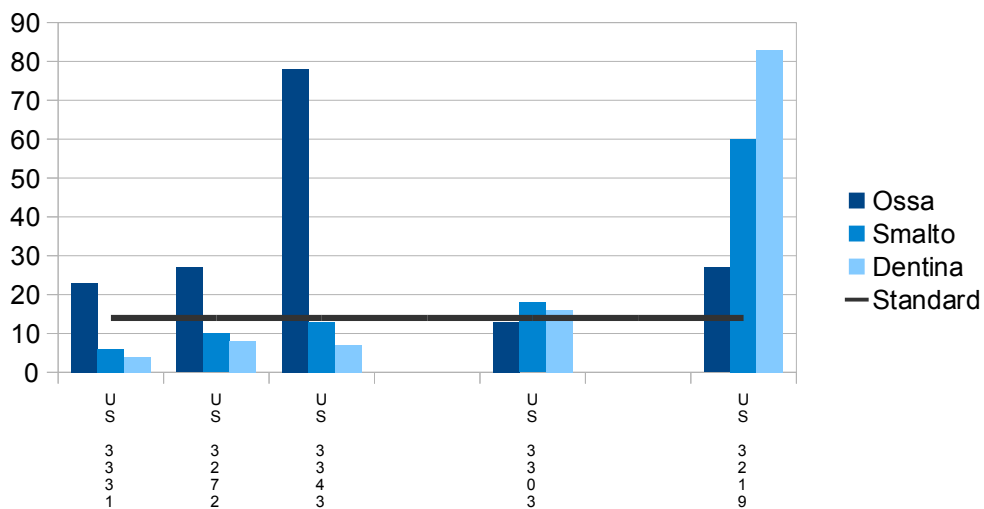


Grafico 62 Manganese: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui adulti

La variabilità nelle concentrazioni di manganese tra le varie componenti è più evidente nei maschi, la femmina (US 3303) presenta livelli piuttosto omogenei e l'individuo indeterminato (US 3219) livelli variabili, ma sempre maggiori del range fisiologico.

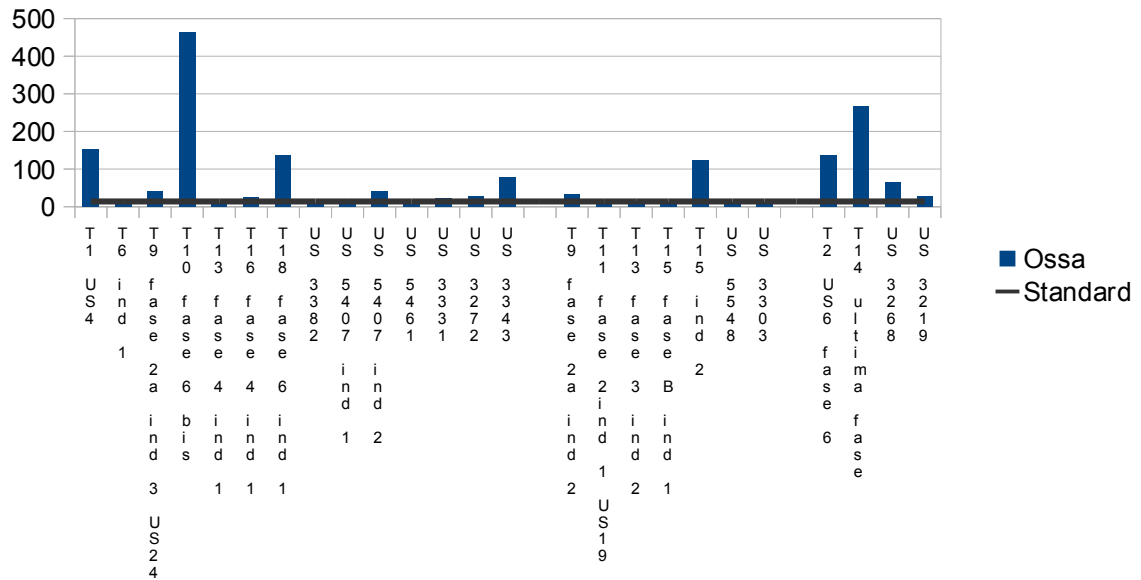


Grafico 65 Manganese: ossa degli individui adulti

Il manganese nelle ossa degli adulti non presenta differenze nella variabilità tra maschi e femmine, mentre negli individui indeterminati i livelli sono sempre superiori al range fisiologico.

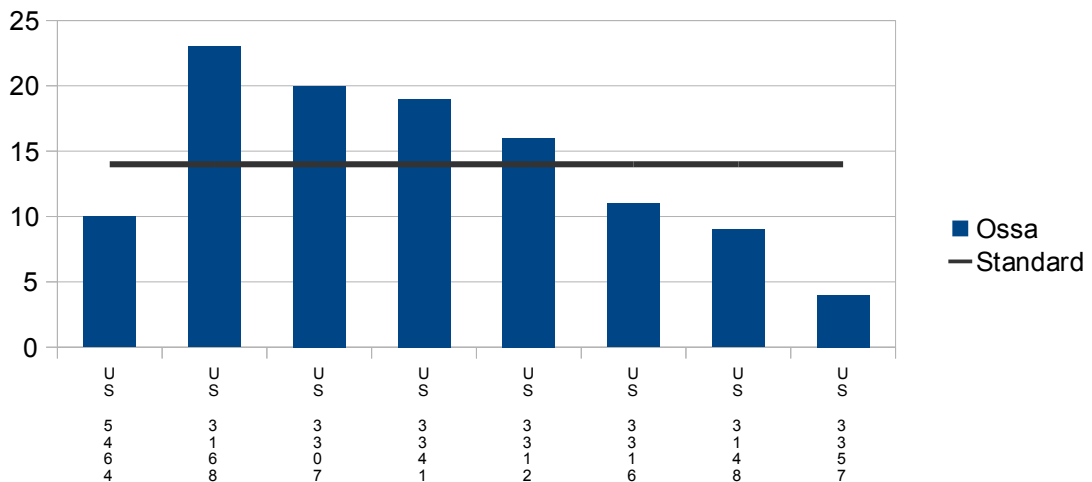


Grafico 66 Manganese: ossa dei bambini

Nei bambini il manganese ha una concentrazione estremamente variabile senza però presentare picchi molto alti.

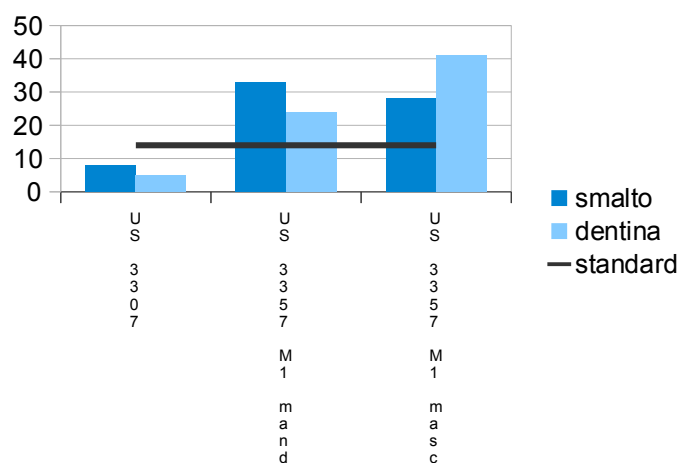


Grafico 69 Manganese: denti dei bambini

Nei bambini il livello è variabile, i due individui hanno delle concentrazioni completamente diverse.

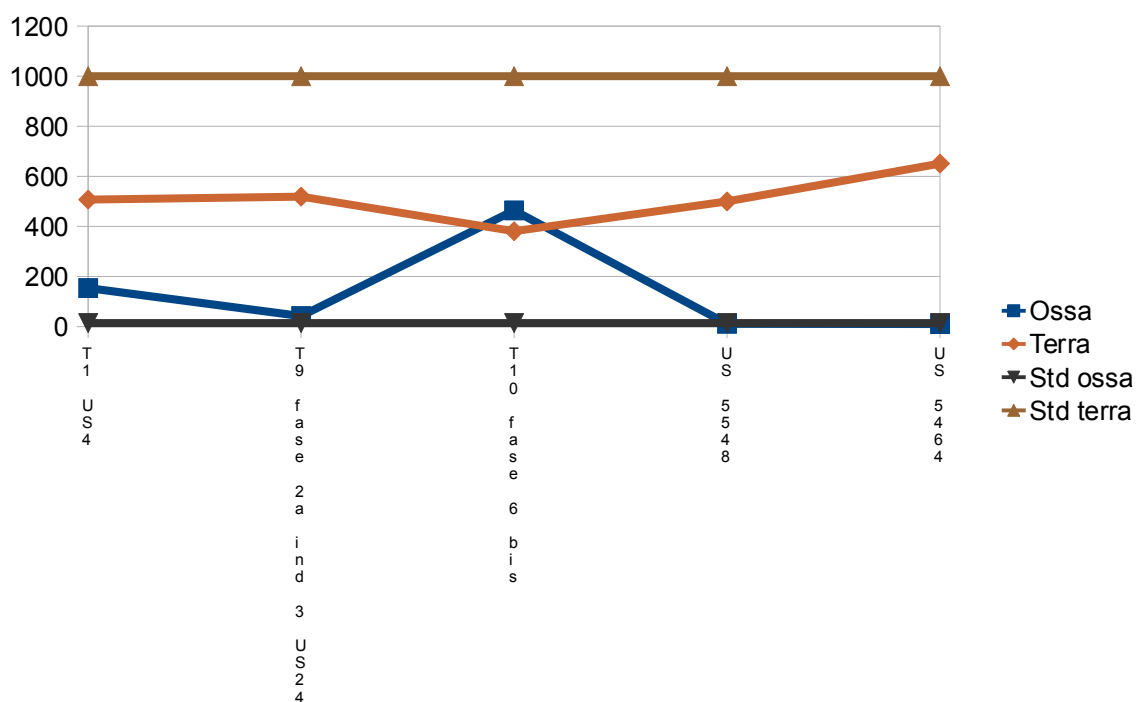


Grafico 70 Manganese: terreno

La concentrazione di manganese nei campioni di suolo ha un andamento lineare, ma notevolmente inferiore allo standard di riferimento.

Piombo

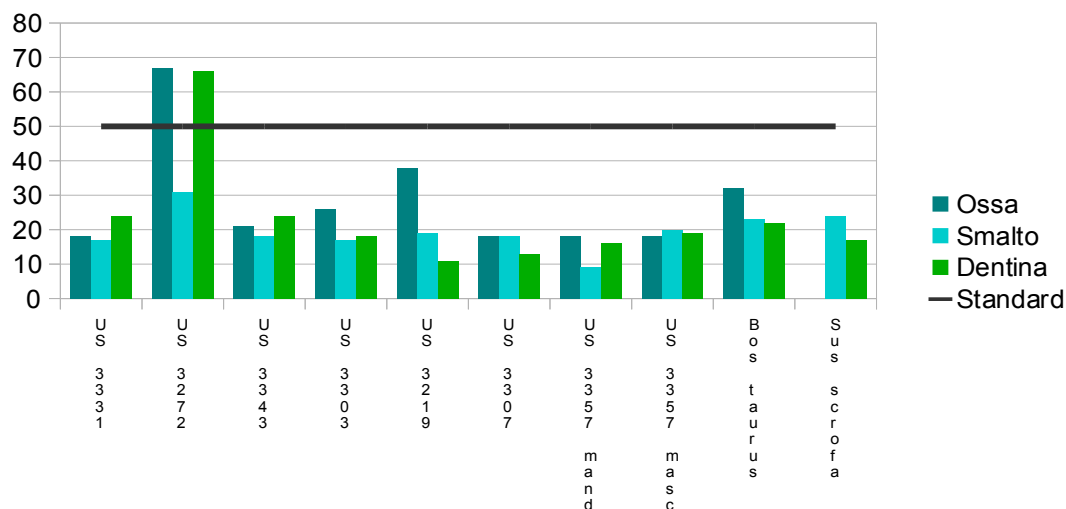


Grafico 71 Piombo: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui

Il piombo ha una concentrazione variabile inferiore allo standard, ad eccezione dell'osso e della dentina dell'individuo della US 3272.

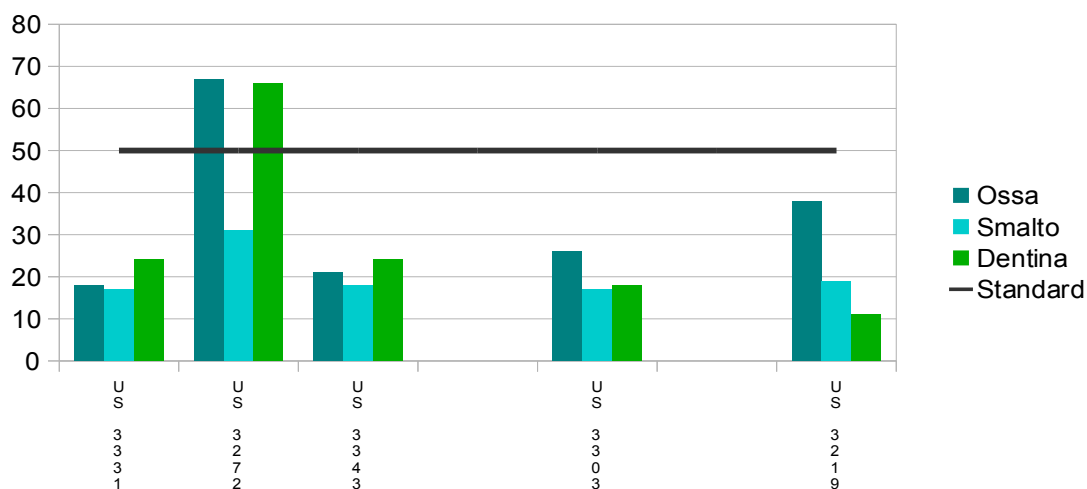


Grafico 72 Piombo: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui adulti

Negli adulti il piombo presenta una leggera variabilità tra le tre componenti con l'eccezione della concentrazione della dentina e dell'osso del maschio della US 3272 suore al range fisiologico.

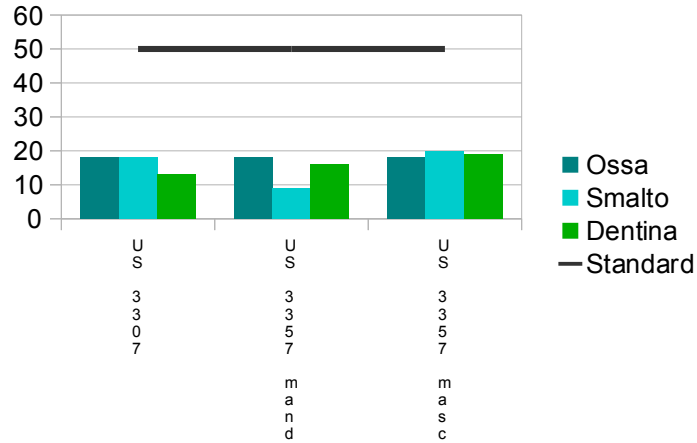


Grafico 73 Piombo: ossa, smalto e dentina appartenenti agli stessi individui adulti

Nei bambini l'andamento del piombo nelle tre componenti appare piuttosto lineare e inferiore allo standard.

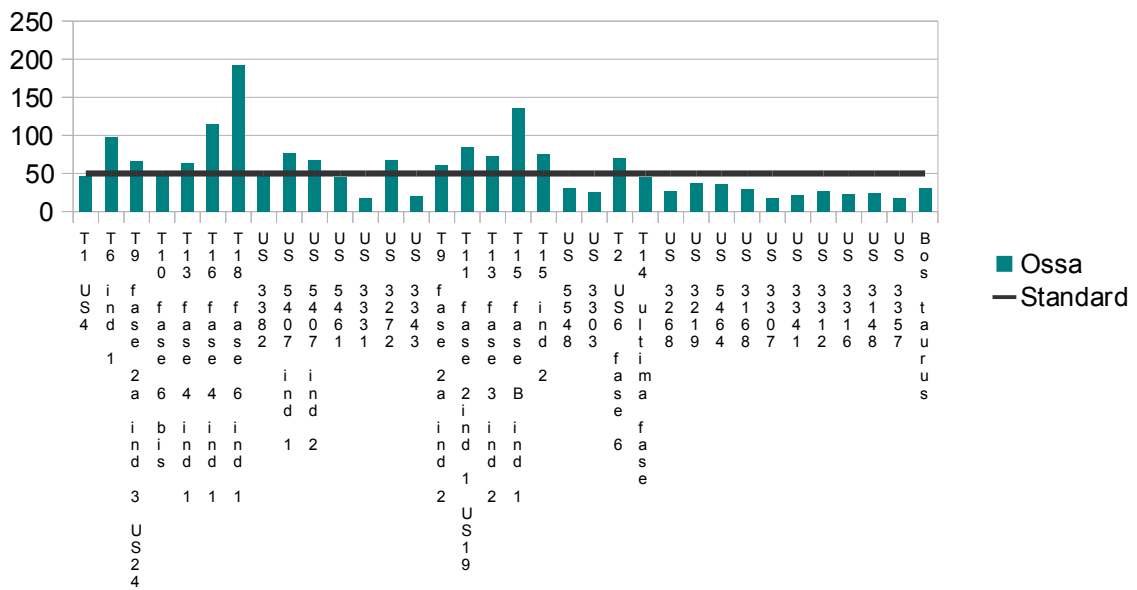


Grafico 74 Piombo: ossa

Il piombo nelle ossa ha una concentrazione molto variabile, in vari indivisui supera abbondantemente il range di riferimento.

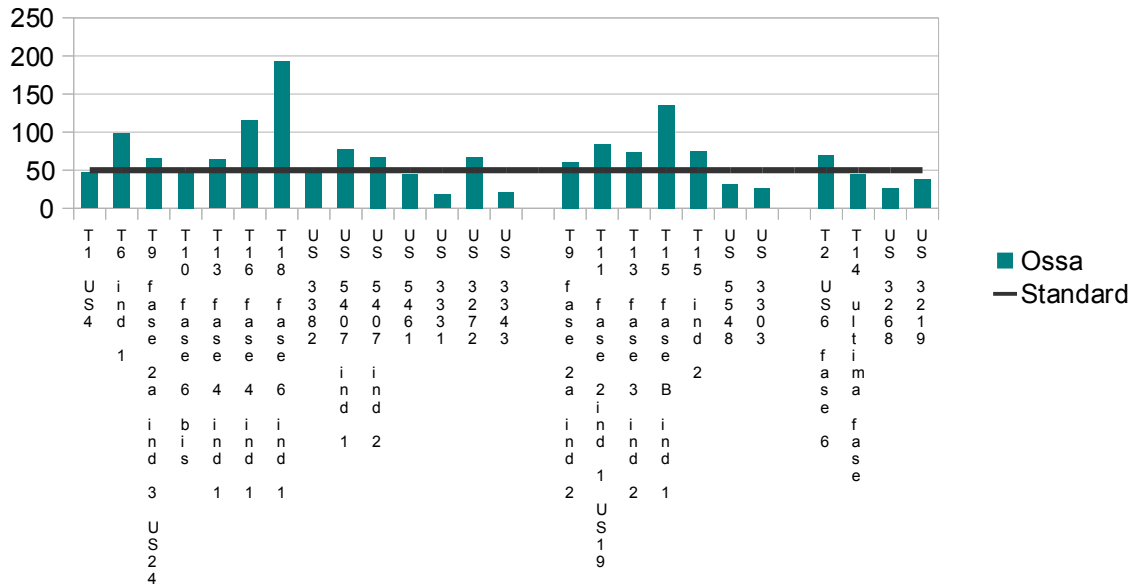


Grafico 75 Piombo: ossa degli individui adulti

Negli adulti si nota una certa variabilità nelle concentrazioni di piombo con alcuni individui che superano il range fisiologico di riferimento, indifferentemente tra maschi e femmine.

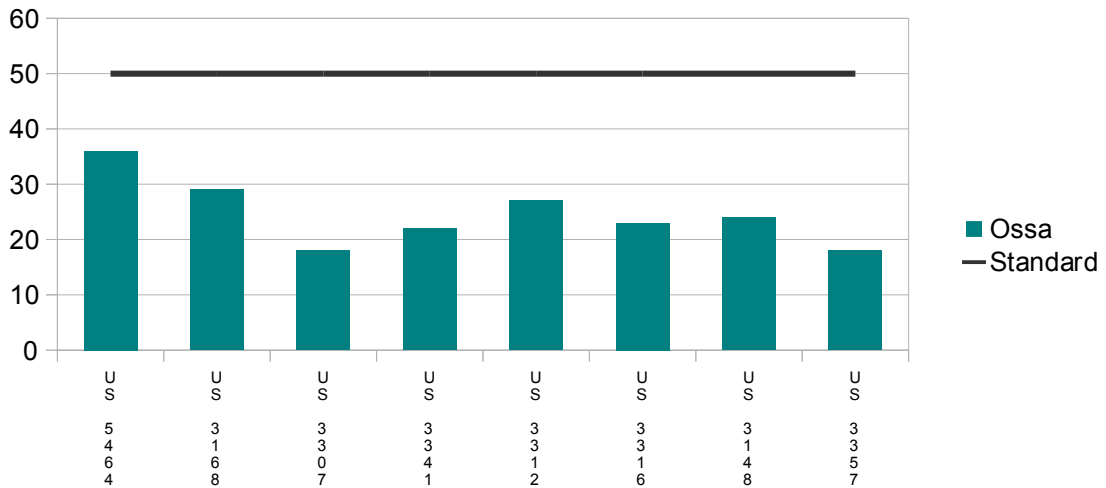


Grafico 76 Piombo: ossa dei bambini

Nei bambini il livello di piombo è sempre più basso dello standard di riferimento, nonostante ci sia una leggera variabilità.

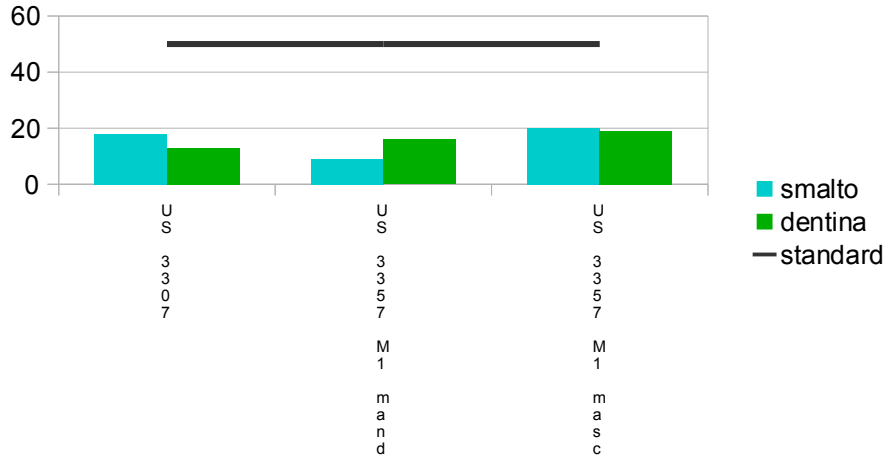


Grafico 79 Piombo: denti dei bambini

Nei denti dei bambini il piombo è presente in concentrazione piuttosto omogenea e inferiore allo standard.

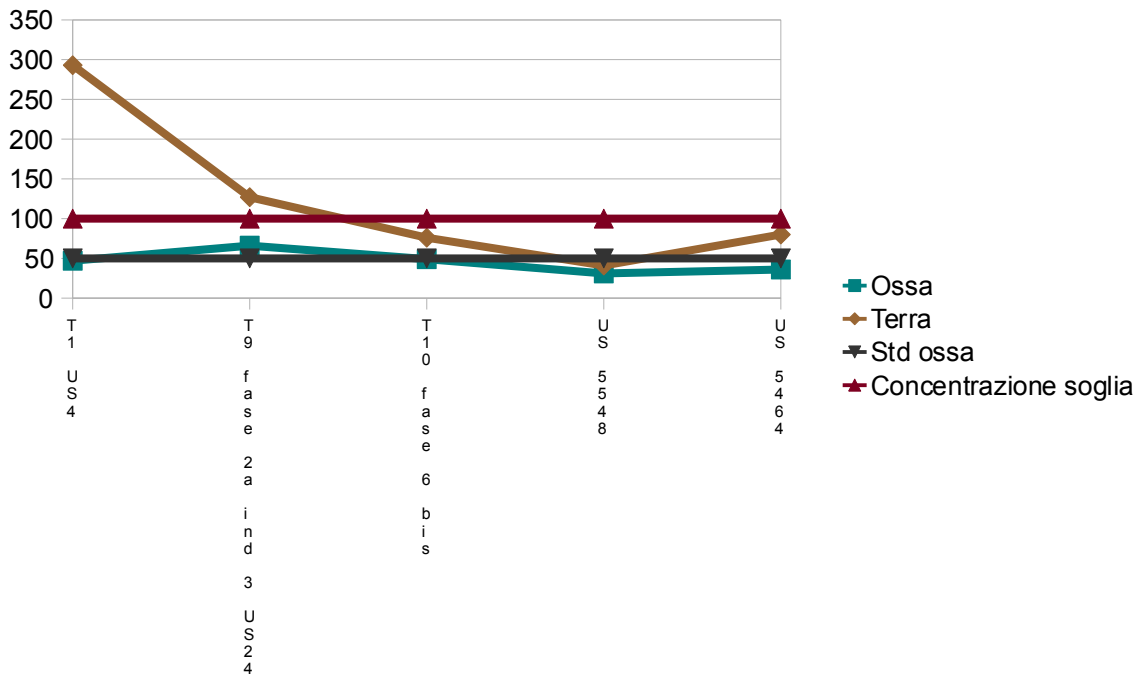


Grafico 80 Piombo: terreno

Nei campioni di suolo il piombo supera la concentrazione soglia in due, in uno con dei livelli notevolmente alti (T1 US4), nelle ossa però non si osserva lo stesso andamento.

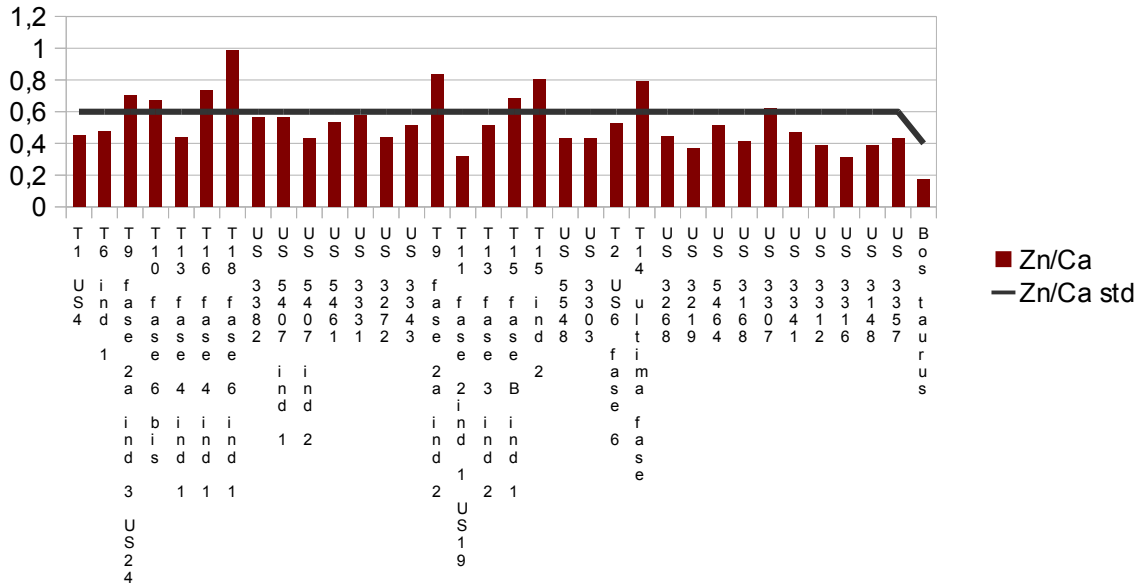


Grafico 85 Zn/Ca ossa

Lo zinco rapportato al calcio è molto variabile nelle ossa; *Bos taurus* ha un valore del rapporto minore dello standard di riferimento.

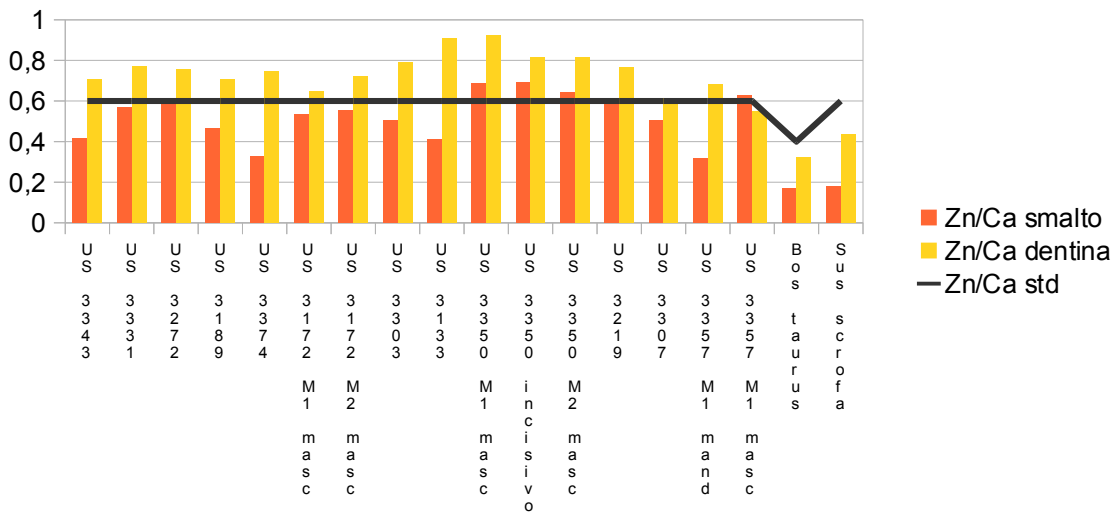


Grafico 86 Zn/Ca denti

Zn/Ca nei denti è variabile con i valori della dentina maggiori di quelli dello smalto.

Magnesio

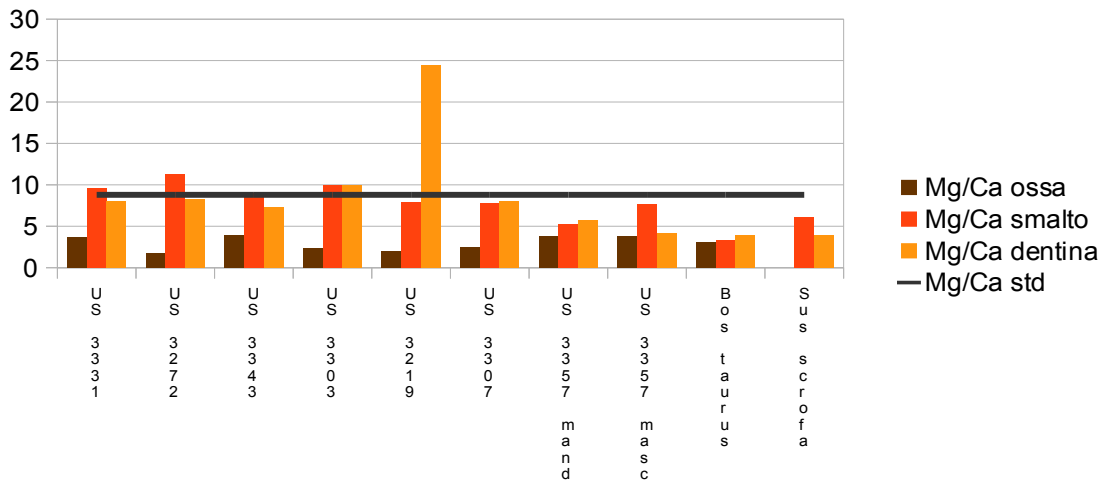


Grafico 87 Mg/Ca ossa, smalto e dentina

Il magnesio rapportato al calcio ha dei valori inferiori nelle ossa rispetto ai denti che sono più vicini allo standard di riferimento, ad eccezione della dentina dell'individuo della US 3219.

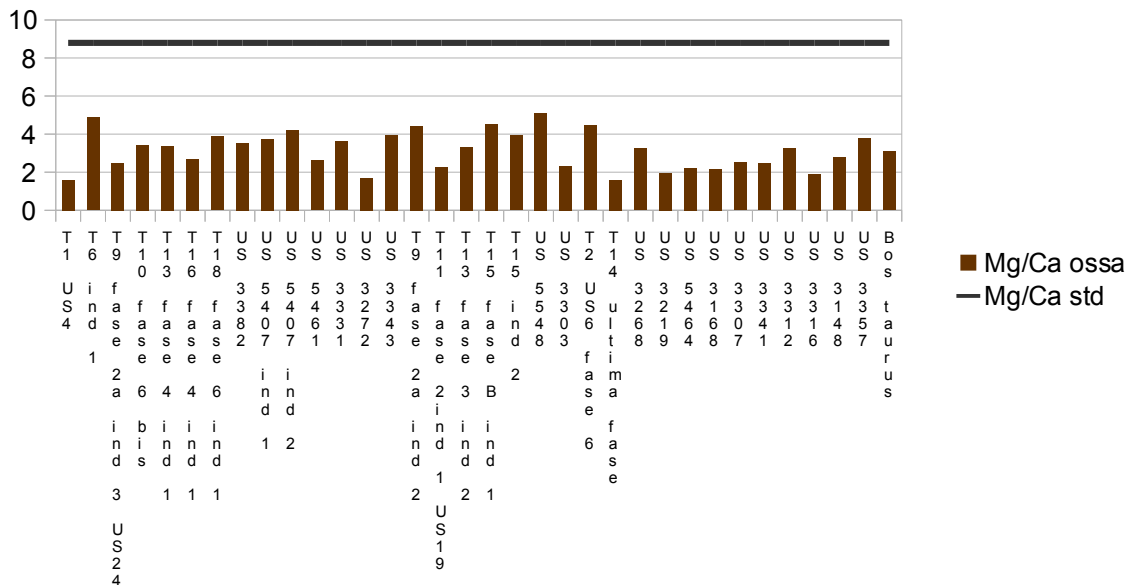


Grafico 88 Mg/Ca ossa

Mg/Ca ha dei valori variabili nelle ossa inferiori allo standard di riferimento.

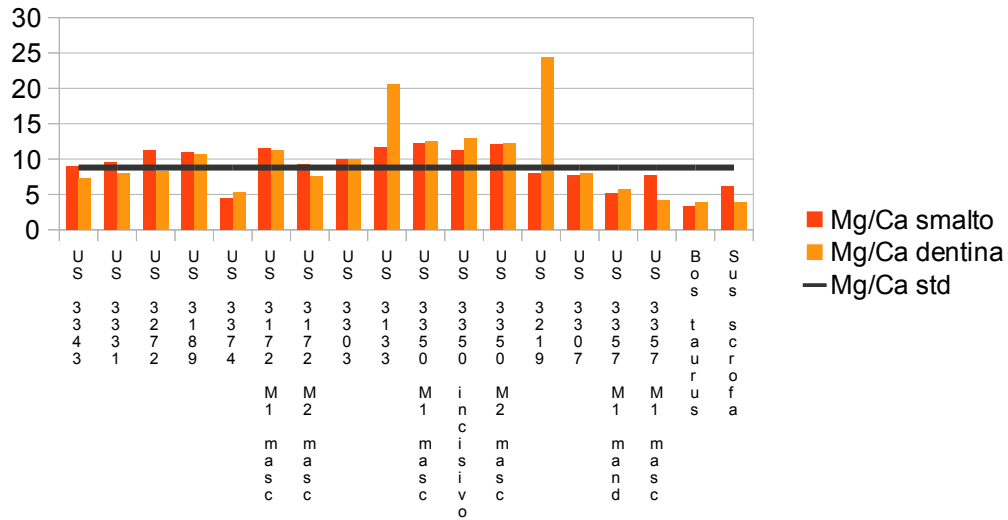


Grafico 89 Mg/Ca denti

Mg/Ca nei denti appare molto variabile con dei valori che superano ampiamente lo standard di riferimento (dentina degli individui delle US 3133 e US 3219).

Rame

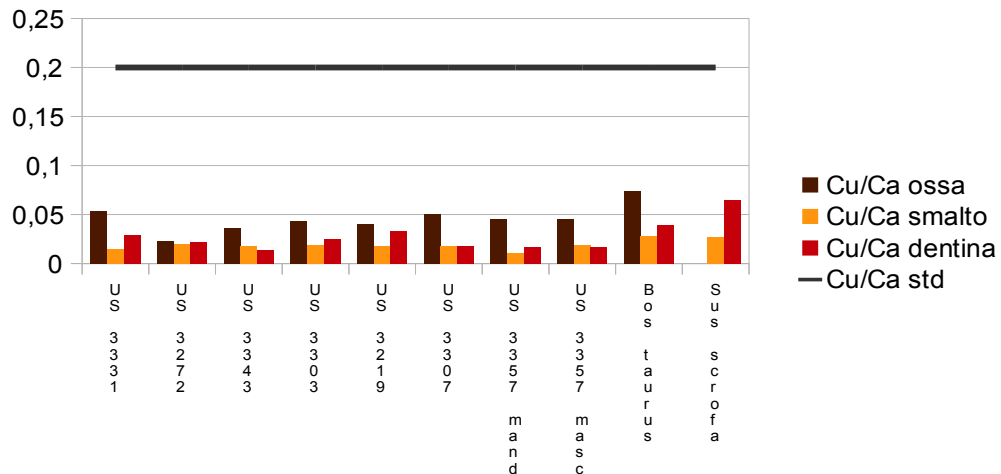


Grafico 90 Cu/Ca ossa, smalto e dentina

Il Cu/Ca nelle tre componenti si presenta omogeneo e inferiore allo standard di riferimento.

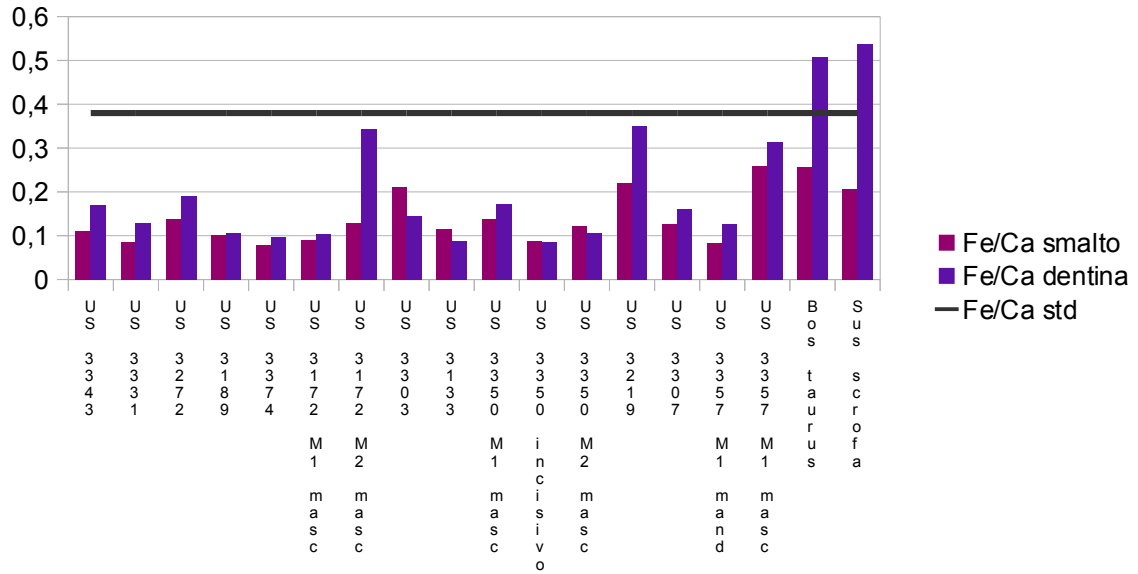


Grafico 95 Fe/Ca denti

Fe/Ca dei denti ha una notevole variabilità.

Manganese

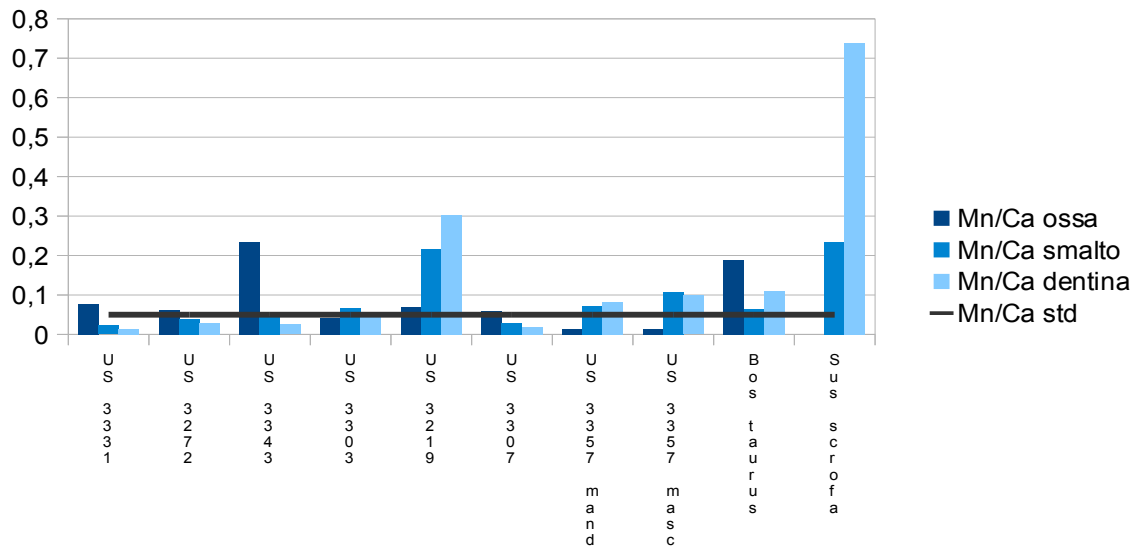


Grafico 96 Mn/Ca ossa, smalto e dentina

Il manganese rapportato al calcio nelle tre componenti ha dei valori molto variabili.

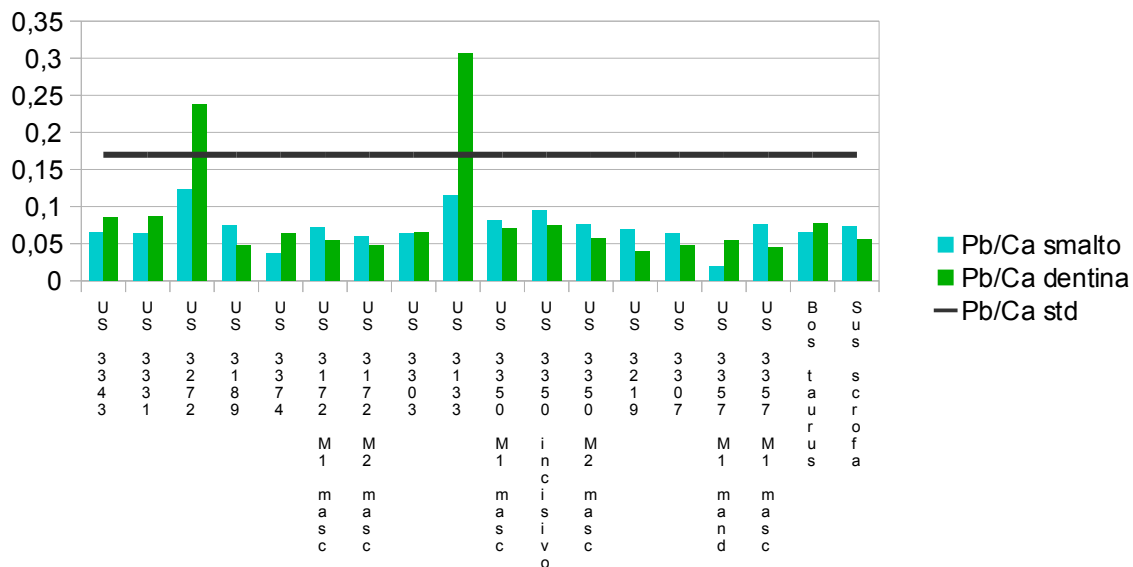


Grafico 101 Pb/Ca denti

Pb/Ca nei denti ha un andamento piuttosto omogeneo e inferiore allo standard ad eccezione delle dentina dei due individui delle US 3272 e US 3133.

3.1.3 Analisi dei dati

Per vedere se ci sono discostamenti tra gli elementi e tra le varie componenti dei reperti sono state calcolate medie e deviazioni standard, avendo tolto i valori lontani dal range fisiologico di riferimento, al fine di non avere dei valori falsati da possibili stati di inquinamento del campione, dovuti a intossicazioni o alterazioni diagenetiche.

Per l'analisi statistica è stato successivamente effettuato il test dell'analisi della varianza (ANOVA) e il successivo test post hoc LSD.

Osservando il risultato dell'elemento piombo è stato utilizzato il test *t* di Student per analizzare statisticamente se ci sono differenze significative tra gli individui adulti e i bambini

Medie e deviazioni standard

Le medie e le deviazioni standard sono calcolate suddividendo i campioni in base alla

componente del reperto, all'età e al sesso; sono inoltre calcolate per i valori totali di smalto, dentina, ossa, dente (smalto unito alla dentina), ossa-dentina (a causa della stessa composizione chimica dei due composti) e valori totali per ogni elemento.

Nelle successive tabelle *o* sta per ossa, *d* per dentina e *s* per smalto.

campione ID	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Sr (ppm)	Mg (ppm)	Ca (mg/g)	Pb (ppm)
1) T1 US4	209	77		58	115	746	467	47
3) T6 ind 1	156	7	6	32	90	1596	328	98
5) T9 fase 2a ind 3 US24	246	34	42	88	169	868	351	66
6) T10 fase 6 bis	205	33			109	1048	305	49
9) T13 fase 4 ind 1	189	15	10	48	151	1446	430	64
13) T16 fase 4 ind 1	256	14	26	69	102	941	350	115
14) T18 fase 6 ind 1	336			41	112	1321	341	193
15) US 3382	174	11	8	37	159	1094	309	47
16) US 5407 ind 1	170	12	19	31	114	1133	303	77
17) US 5407 ind 2	137	16	41	39	132	1345	318	67
19) US 5461	157	17	7	61	115	770	295	45
23) US 3331 o	174	16	23	102	138	1088	301	18
25) US 3272 o	195	10	27	39	96	757	444	67
26) US 3343 o	171	12	78	71	119	1309	332	21
MEDIA	198,2142857	21,07692308	26,09090909	55,07692308	122,9285714	1104,428571	348,1428571	69,57142857
DEV. STANDARD	51,74074212	18,66128585	21,41240083	22,32510373	23,70155557	270,7464651	56,92891268	44,10078368
62) US 3331 s	151	4	6	23	31	2541	266	17
64) US 3272 s	148	5	10	35	30	2836	252	31
61) US 3343 s	116	5	13	31	35	2488	278	18
69) US 3189 s	131	5	6	29	25	3090	283	21
71) US 3374 s	159	4	10	38	33	2161	483	18
75) US 3172 M1 mascella s	142	5	15	24	44	3037	265	19
76) US 3172 M2 mascella s	156	5	14	36	45	2595	281	17
MEDIA	143,2857143	4,714285714	10,57142857	30,85714286	34,71428571	2678,285714	301,1428571	20,14285714
DEV. STANDARD	15,20651489	0,487950036	3,644957378	5,871642911	7,364651739	329,8068699	80,93089351	4,980915961
78) US 3331 d	214	8	4	36	75	2218	278	24
80) US 3272 d	209	6	8	53	69	2301	277	66
77) US 3343 d	199	5	7	48	98	2060	282	24
85) US 3189 d	194	7	4	29	77	2928	274	13
87) US 3374 d	209	11	5	27	95	1482	280	18
91) US 3172 M1 mascella d	180	8	6	29	86	3122	277	15
92) US 3172 M2 mascella d	195	8	8	93	120	2049	271	13
MEDIA	200	7,571428571	6	45	88,57142857	2308,571429	277	24,71428571
DEV. STANDARD	11,69045194	1,902379462	1,732050808	23,43074903	17,44378727	557,6742948	3,651483717	18,79462943
MEDIA TOT	184,9285714	13,33333333	16,12	46,18518519	92,28571429	1798,928571	318,6071429	46
DEV. STANDARD TOT	44,39296622	14,85053742	16,71905101	21,62981745	41,23002964	804,0463377	63,23872424	39,9916658

Tab. 8 Medie e deviazioni standard di individui maschili

campione ID	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Sr (ppm)	Mg (ppm)	Ca (mg/g)	Pb (ppm)
4) T9 fase 2a ind 2	259	51	32	40	131	1374	310	61
7) T11 fase 2ind 1 US19	215	13	10	50	142	1523		84
8) T13 fase 3 ind 2	167	12	15	48	154	1088	326	73
11) T15 fase B ind 1	206	16	11	70	153	1369	302	136
12) T15 ind 2	250	61		67	117	1228	312	75
18) US 5548	155	9	11	94	104	1845	360	31
30) US 3303 o	139	14	13	60	128	745	320	26
MEDIA	198,7142857	25,14285714	15,33333333	61,28571429	132,7142857	1310,285714	321,6666667	69,42857143
DEV. STANDARD	46,66445573	21,38089935	8,358628277	17,96955097	18,47263098	345,0612092	18,74092373	36,79156218
63) US 3303 s	134	5	18	56	44	2657	266	17
70) US 3133 s	110	4	11	31	24	3136	268	31
72) US 3350 M1 mascella s	184	5	19	37	28	3267	268	22
74) US 3350 M2 mascella s	178	5	27	34	35	3355	278	21
73) US 3350 incisivo s	197	5	9	25	35	3185	285	27
MEDIA	160,6	4,8	16,8	36,6	33,2	3120	273	23,6
DEV. STANDARD	36,88902276	0,447213595	7,155417528	11,71750827	7,661592524	271,8841665	8,185352772	5,458937626
79) US 3303 d	220	7	16	40	103	2769	278	18
86) US 3133 d	246	7	5	24	27		271	83
88) US 3350 M1 mascella d	247	7	16	46	71	3354	268	19
90) US 3350 M2 mascella d	230	7	11	30	75	3458	282	16
89) US 3350 incisivo d	230	8	5	24	78	3674	283	21
MEDIA	234,6	7,2	10,6	32,8	70,8	3313,75	276,4	31,4
DEV. STANDARD	11,61034022	0,447213595	5,504543578	9,859006035	27,49909089	386,8508541	6,655824517	28,90155705
MEDIA TOT	181,4222745	13,70337953	13,83236896	42,5623988	78,14516711	2153,711554	264,9296472	42,67995577
DEV. STANDARD TOT	62,14105869	15,351077	6,769627054	19,9015444	50,02411906	1145,873895	89,63707756	32,82267087

Tab. 9 Medie e deviazioni standard di individui femminili

campione ID	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Sr (ppm)	Mg (ppm)	Ca (mg/g)	Pb (ppm)
2) T2 US6 fase 6	171	25		31	96	1449	325	70
10) T14 ultima fase		87		47	88	1155		45
22) US 3268	134	13	66	149	129	797	301	27
32) US 3219 o	145	16	27	151	144	771	393	38
MEDIA	150	35,25	46,5	94,5	114,25	1043	339,6666667	45
DEV. STANDARD	19	34,87477598	27,57716447	64,42308075	26,61296676	322,4282866	47,72141378	18,23915203
68) US 3219 s	165	5	60	61	28	2194	276	19
84) US 3219 d	210	9	83	96	32		274	11
MEDIA TOT	165	25,83333333	59	89,16666667	86,16666667	1273,2	313,8	35
DEV. STANDARD TOT	29,2489316	30,72729514	23,4520788	51,77805198	48,15980343	585,6024249	48,9254535	21,11871208

Tab. 10 Medie e deviazioni standard di individui indeterminati

campione ID	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Sr (ppm)	Mg (ppm)	Ca (mg/g)	Pb (ppm)
20) US 5464	164	17	10	51	120	715	321	36
21) US 3168	146	19	23	123	130	766	354	29
27) US 3341 o	177	17	19	194	114	925	376	22
28) US 3312 o	117	43	16	151	143	983	303	27
29) US 3316 o	113	18	11	108	126	697	365	23
31) US 3148 o	150	20	9	85	142	1076	387	24
24) US 3307 o	196	16	20	60	137	790	316	18
109) US 3357 o	124	13	4	50	85	1093	287	18
MEDIA	148,375	20,375	14	102,75	124,625	880,625	338,625	24,625
DEV. STANDARD	29,68856201	9,379879682	6,502746672	51,67964507	19,00328919	159,5645302	36,69541622	5,99851172
65) US 3307 s	143	5	8	36	45	2180	282	18
66) US 3357 M1 mandibola s	144	5	33	38	33	2357	454	9
67) US 3357 M1 mascella s	164	5	28	68	43	2014	262	20
MEDIA	150,3333333	5	23	47,33333333	40,33333333	2183,666667	332,6666667	15,66666667
DEV. STANDARD	11,8462371	0	13,22875656	17,92577288	6,429100507	171,529395	105,5525146	5,859465277
81) US 3307 d	168	5	5	44	79	2182	273	13
82) US 3357 M1 mandibola d	199	5	24	37	79	1660	292	16
83) US 3357 M1 mascella d	229	7	41	131	72	1750	416	19
MEDIA	198,6666667	5,666666667	23,33333333	70,66666667	76,66666667	1864	327	16
DEV. STANDARD	30,50136609	1,154700538	18,00925688	52,36729259	4,041451884	279,0483829	77,65951326	3
MEDIA TOT	143,0135074	12,76415998	17,09619462	77,53826396	85,46615128	1254,632533	305,6410887	19,11942465
DEV. STANDARD TOT	53,20518364	10,01908393	10,18721241	47,62404434	45,68967735	710,8582803	100,0644899	7,807264212

Tab. 11 Medie e deviazioni standard di bambini

	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Sr (ppm)	Mg (ppm)	Ca (mg/g)	Pb (ppm)
MEDIA TOTALE OSSA	181,34375	23,5625	21,62962963	73,28125	124,3636364	1086,393939	339,7419355	55,66666667
DEV. STANDARD TOTALE OSSA	48,35994702	19,60239864	17,70516689	41,39832814	21,59979482	298,9127109	45,15821649	38,26361413
MEDIA TOTALE SMALTO	151,375	4,8125	17,9375	37,625	34,875	2693,3125	296,6875	20,3125
DEV. STANDARD TOTALE SMALTO	23,35772535	0,403112887	13,82494726	13,04798835	7,274384281	443,2896297	67,87509975	5,522303263
MEDIA TOTALE DENTINA	211,1875	7,1875	15,5	49,1875	77,25	2500,5	286	24,3125
DEV. STANDARD TOTALE DENTINA	22,07326815	1,558578412	20,46134567	30,77708834	23,14735406	711,9558921	35,1511024	20,19147923
MEDIA TOTALE ASSOLUTA	181,3125	14,78125	18,96610169	58,34375	90,73846154	1808,746032	313,9230769	39,24615385
DEV. STANDARD TOTALE ASSOLUTA	43,02301894	16,39344502	17,46816425	36,78345848	42,18903772	887,4938613	54,62332913	33,45380713
MEDIA TOTALE OSSA-DENTINA	191,2916667	18,10416667	19,34883721	65,25	108,9795918	1507,617021	321,4468085	45,42857143
DEV. STANDARD OSSA-DENTINA	40,28624186	17,75032464	18,77673804	39,55308848	31,11435412	795,4381225	48,94353824	36,38910093
MEDIA TOT OSSA ADULTI	192,3333333	24,625	24,84210526	63,45833333	124,28	1152,24	340,1304348	65,6
DEV. STANDARD OSSA ADULTI	48,78316412	22,05489692	19,98961719	33,08090105	22,73125601	305,083087	48,49489603	38,95724152
MEDIA TOT SMALTO ADULTI	140,7857143	4,769230769	16,76923077	35,38461538	33,61538462	2810,923077	288,3846154	21,38461538
DEV. STANDARD SMALTO ADULTI	25,38523698	0,43852901	14,20770827	11,41299305	7,077410797	844,2846637	59,19112893	5,075077365
MEDIA TOT DENTINA ADULTI	214,0769231	7,538461538	13,69230769	44,23076923	77,38461538	2674,090909	276,5384615	26,23076923
DEV. STANDARD DENTINA ADULTI	14,44645285	1,450022104	21,22256902	24,1873033	25,82485386	699,0601483	4,701336417	22,06488102

Tab. 12 Medie e deviazioni standard

ANOVA e post hoc LSD

Calcio

Calcio
ANOVA Table for Col_2 by Col_1

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	18988.7	2	9494.33	4.72	0.0226
Within groups	36238.6	18	2013.25		
Total (Corr.)	55227.2	20			

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD

Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
s	7	268.857	X
d	7	296.857	XX
o	7	341.857	X

Contrast	Difference	+/- Limits
d - o	-45.0	50.3879
d - s	28.0	50.3879
o - s	*73.0	50.3879

* denotes a statistically significant difference.

Stronzio

Stronzio
ANOVA Table for Col_2 by Col_1

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	22487.0	2	11243.5	31.93	0.0000
Within groups	6338.86	18	352.159		
Total (Corr.)	28825.8	20			

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD

Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
s	7	36.5714	X
d	7	75.4286	X
o	7	116.714	X

Contrast	Difference	+/- Limits
d - o	*-41.2857	21.074
d - s	*38.8571	21.074
o - s	*80.1429	21.074

* denotes a statistically significant difference.

Zinco

Zinco
ANOVA Table for Col_2 by Col_1

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	13873.2	2	6936.62	14.21	0.0002
Within groups	8784.57	18	488.032		
Total (Corr.)	22657.8	20			

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
s	7	145.857	X
o	7	163.429	X
d	7	207.0	X

Contrast	Difference	+/- Limits
d - o	*43.5714	24.8085
d - s	*61.1429	24.8085
o - s	17.5714	24.8085

* denotes a statistically significant difference.

Magnesio

Magnesio
ANOVA Table for Col_2 by Col_1

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1.41355E7	2	7.06773E6	6.84	0.0062
Within groups	1.86051E7	18	1.03362E6		
Total (Corr.)	3.27406E7	20			

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
o	7	936.143	X
s	7	2415.71	X
d	7	2853.71	X

Contrast	Difference	+/- Limits
d - o	*1917.57	1141.71
d - s	438.0	1141.71
o - s	*-1479.57	1141.71

* denotes a statistically significant difference.

Rame

Rame
ANOVA Table for Col_2 by Col_1

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	316.095	2	158.048	60.35	0.0000
Within groups	47.1429	18	2.61905		
Total (Corr.)	363.238	20			

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
s	7	4.85714	X
d	7	6.71429	X
o	7	13.8571	X

Contrast	Difference	+/- Limits
d - o	*-7.14286	1.81739
d - s	*1.85714	1.81739
o - s	*9.0	1.81739

* denotes a statistically significant difference.

Ferro

Ferro
ANOVA Table for Col_2 by Col_1

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	3618.95	2	1809.48	1.78	0.1970
Within groups	18296.3	18	1016.46		
Total (Corr.)	21915.2	20			

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
s	7	44.2857	X
d	7	64.0	X
o	7	76.1429	X

Contrast	Difference	+/- Limits
d - o	-12.1429	35.8032
d - s	19.7143	35.8032
o - s	31.8571	35.8032

* denotes a statistically significant difference.

Manganese

Manganese
ANOVA Table for Col_2 by Col_1

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	165.429	2	82.7143	0.14	0.8710
Within groups	10698.9	18	594.381		
Total (Corr.)	10864.3	20			

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
s	7	20.4286	X
d	7	23.4286	X
o	7	27.2857	X
Contrast		Difference	+/- Limits
d - o		-3.85714	27.3785
d - s		3.0	27.3785
o - s		6.85714	27.3785

* denotes a statistically significant difference.

Piombo

Piombo
ANOVA Table for Col_2 by Col_1

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	311.524	2	155.762	0.67	0.5264
Within groups	4215.71	18	234.206		
Total (Corr.)	4527.24	20			

Multiple Range Tests for Col_2 by Col_1

Method: 95.0 percent LSD			
Col_1	Count	Mean	Homogeneous Groups
s	7	20.0	X
d	7	25.0	X
o	7	29.4286	X
Contrast		Difference	+/- Limits
d - o		-4.42857	17.1861
d - s		5.0	17.1861
o - s		9.42857	17.1861

* denotes a statistically significant difference.

Test t di Student sul piombo

Ossa

Gruppi	N	Media	Dev. Std.	ESM
1	25	14.00	19.00	7.00
2	8	25.00	6.00	2.12

Differenza	11.00	13.99
intervallo di confidenza al 95% per la differenza: da 12.47		
a 69.53		
t = 1.931 con 31 gradi di libertà ; P = 0.066		

Dentina

Gruppi	N	Media	Dev. Std.	ESM
1	13	26.00	12.00	6.10
2	9	16.00	9.00	1.73

Differenza	10.00	13.07
intervallo di confidenza al 95% per la differenza: da -10.02		
a 30.02		
t = 0.765 con 14 gradi di libertà ; P = 0.457		

Smalto

Gruppi	N	Media	Dev. Std.	ESM
1	13	21.00	6.00	1.39
2	11	16.00	6.00	1.46

Differenza	5.00	3.00
intervallo di confidenza al 95% per la differenza: da -0.08		
a 12.08		
t = 1.519 con 14 gradi di libertà ; P = 0.152		

3.1.4 Dati dei siti diacronici, sincroni ed eterotopici

I valori ottenuti sono confrontati con un sito sincrono come Roccapelago; con altri diacronici e eterotopici come alcuni individui con dieta vegana e con un sito sulle popolazioni antiche.

Roccapelago

Di seguito vengono mostrate le tabelle con i valori relativi allo studio su Roccapelago.

Roccapelago	Zn (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Mg (ppm)	Ca (mg/g)
Ind 47	72	85	1,63	1958	229
Ind 73	77	129	0,38	2528	270
Ind 77	97	114	0,35	2288	245
Ind 78	93	64	0,18	2155	264
Ind 61	81	137	0,36	2425	251
Ind 76	85	77	0,31	2189	240
Ind 36	80	90	0,34	2178	253
Ind 58	76	84	0,33	2138	248
Ind 51	84	103	0,61	2090	248
Ind 79 A	78	90	0,33	2262	250
Ind 79 B	91	107	0,37	2621	263
Ind 69	90	92	0,44	2290	240
Ind 66	84	76	0,35	2267	251
Ind 81	79	99	0,3	2339	235
Ind 57	71	88	0,47	1857	211
media	82,53333333	95,66666667	0,45	2239	246,5333333
dev.st	7,633260553	19,7725158	0,339516463	198,371945	14,6768363

Tab. 13 Valori assoluti di Roccapelago

Roccapelago	Zn/Ca	Sr/Ca	Cu/Ca	Mg/Ca
Ind 47	0,32	0,37	0,007	8,54
Ind 73	0,29	0,48	0,001	9,37
Ind 77	0,4	0,47	0,001	9,36
Ind 78	0,35	0,24	0,001	8,18
Ind 61	0,32	0,55	0,001	9,65
Ind 76	0,36	0,32	0,001	9,11
Ind 36	0,31	0,36	0,001	8,6
Ind 58	0,31	0,34	0,001	8,64
Ind 51	0,34	0,42	0,002	8,43
Ind 79 A	0,31	0,36	0,001	9,03
Ind 79 B	0,34	0,41	0,001	9,96
Ind 69	0,38	0,38	0,002	9,55
Ind 66	0,34	0,3	0,001	9,04
Ind 81	0,34	0,42	0,001	9,97
Ind 57	0,34	0,42	0,002	8,89
media	0,336666667	0,389333333	0,0016	9,088
dev.st	0,028702082	0,077225705	0,001549193	0,551817775

Tab. 14 Rapporti elemento/calcio di Roccapelago

Vegani

Di seguito vengono riportate le tabelle con i risultati dello studio sui vegani.

	Vegans (n = 12)		NHNSJ, 2008 ⁽¹⁾		DRIJ, 2010 ⁽²⁾				
	Mean ± SD	Median	Mean ± SD	Median	EAR	RDA	AI	DG	UL
Energy (kcal)	1847 ± 141	1840	1682 ± 469	1645	1750	-	-	-	-
Protein (g)	56.2 ± 8.1	58.4	60.2 ± 19.0	58.7	40	50	-	-	-
Lipids (% energy)	20.8 ± 7.3	21.0	24.5 ± 14.1	22.6	-	-	-	20 - 25	-
Sodium (mg)	3649 ± 1719	3029	3696 ± 1415 ⁽³⁾	3538 ⁽³⁾	590 ⁽³⁾	-	-	<2950 ⁽³⁾	-
Potassium (mg)	3610 ± 1272*	3217	1983 ± 777	1891	-	-	2000	2800	-
Calcium (mg)	361 ± 122	389	440 ± 224	406	550	650	-	-	2300
Magnesium (mg)	494 ± 112*	462	214 ± 80	204	240	290	-	-	-
Phosphorus (mg)	1225 ± 311*	1197	854 ± 284	830	-	-	-	-	3000
Iron (mg)	13.0 ± 2.4*	12.2	6.9 ± 3.0	6.5	9.0	11.0	900	-	40
Zinc (mg)	8.3 ± 1.6	9.1	7.1 ± 2.4	6.9	8	9	-	-	35
Copper (mg)	1.75 ± 0.37*	1.66	1.00 ± 0.35	0.96	0.6	0.7	-	-	10
Manganese (mg)	7.5 ± 2.2	7.9	-	-	-	-	3.5	-	11
Iodine (µg)	1865 ± 1934	1158	-	-	95	130	-	-	2200
	788 (255 - 2441) ⁽⁴⁾	746 ⁽³⁾							
Selenium (µg)	87 ± 34	76	-	-	20	25	-	-	230
Chromium (µg)	27 ± 8	28	-	-	25	30	-	-	-
Molybdenum (µg)	540 ± 207	563	-	-	20	25	-	-	500

Tab. 15 Risultati dello studio sulle vegane giapponesi

Vegane giapponesi (n=12)	Età 48,4 ± 12,9	
	Media ± SD	Mediana
Calcio (mg)	361 ± 122	389
Magnesio (mg)	494 ± 112	462
Ferro (mg)	13 ± 2,4	12,2
Zinco (mg)	8,3 ± 1,6	9,1
Rame (mg)	1,75 ± 0,37	1,66
Manganese (mg)	7,5 ± 2,2	7,9

Tab. 16 Valori assoluti del plasma sanguigno delle giapponesi vegane

Donne giapponesi (n=1053)	Età 30-49 anni	
	Media ± SD	Mediana
Calcio (mg)	440 ± 224	406
Magnesio (mg)	214 ± 80	204
Ferro (mg)	6,9 ± 3	6,5
Zinco (mg)	7,1 ± 2,4	6,9
Rame (mg)	1 ± 0,35	0,96
Manganese (mg)	-	-

Tab. 17 Valori assoluti del plasma sanguigno delle giapponesi

Inuit

Di seguito vengono riportati i risultati dello studio sulle popolazioni artiche.

<i>Inuit</i>	Sesso	Ca (mg/g)	Sr (ppm)	Zn (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)
Browerville 1	m	375	177	179	4183	11	9	130
Browerville 2	f	371	120	400	2081	34	15	296
Utqiagvik 1	f	375	255	119	4513	4	9	38
Utqiagvik 2	m	378	286	108	4344	9	7	52
Utqiagvik 2	?	377	223	103	5099	7	8	55
Kipuaqlak 1	?	361	712	224	4528	216	14	8013
Kipuaqlak 2	f	369	513	156	4122	86	8	235
W. Thule 1	?	381	221	145	3376	72	8	289
W. Thule 2	?	377	168	182	4335	13	13	778
Kugok 1	f	369	265	203	1243	1868	9	927
Ipiutak 1	?	366	310	233	2376	363	9	451
Ipiutak 2	f	343	441	213	1312	1004	25	12840
media		370,1666667	307,5833333	188,75	3459,333333	307,25	11,16666667	2008,666667
dev.st.		10,27648094	169,2155475	80,04785501	1350,304635	568,6672018	5,078176719	4074,034372

Tab. 18 Valori assoluti degli Inuit

<i>Inuit</i>	Sr/Ca	Zn/Ca	Mg/Ca	Mn/Ca	Cu/Ca	Fe/Ca
Browerville 1	0,472	0,477333333	11,154666667	0,029333333	0,024	0,346666667
Browerville 2	0,323450135	1,078167116	5,60916442	0,091644205	0,040431267	0,797843666
Utqiagvik 1	0,68	0,317333333	12,034666667	0,010666667	0,024	0,101333333
Utqiagvik 2	0,756613757	0,285714286	11,49206349	0,023809524	0,018518519	0,137566138
Utqiagvik 2	0,591511936	0,273209549	13,52519894	0,018567639	0,021220159	0,145888594
Kipuaqlak 1	1,972299169	0,620498615	12,54293629	0,59833795	0,038781163	22,1966759
Kipuaqlak 2	1,390243902	0,422764228	11,17073171	0,233062331	0,021680217	0,636856369
W. Thule 1	0,580052493	0,380577428	8,860892388	0,188976378	0,020997375	0,758530184
W. Thule 2	0,445623342	0,482758621	11,49867374	0,034482759	0,034482759	2,063660477
Kugok 1	0,718157182	0,550135501	3,368563686	5,062330623	0,024390244	2,512195122
Ipiutak 1	0,846994536	0,636612022	6,491803279	0,991803279	0,024590164	1,232240437
Ipiutak 2	1,285714286	0,620991254	3,825072886	2,927113703	0,072886297	37,43440233
media	0,838555061	0,512174607	9,297869513	0,850844032	0,03049818	5,696988268
dev.st.	0,478449534	0,220452287	3,558393899	1,565280832	0,015178284	11,74902392

Tab. 19 Rapporti elemento/calcio degli Inuit

<i>Inuit</i>	Ca (mg/g)	Sr (ppm)	Zn (ppm)	Mg (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)
Polar bear 1	362	571	1113	2518	236	90	422
Polar bear 2	369	668	247	2074	520	7	2586
Caribù 1	363	290	351	2635	67	12	66
Caribù 2	371	181	135	4440	21	7	36
media	366,25	427,5	461,5	2916,75	211	29	777,5
dev.st.	4,425306016	229,5655317	443,1986011	1043,855474	225,788987	40,73491541	1218,346831

Tab. 20 Valori assoluti della fauna Inuit

3.2 Discussione

3.2.1 Discussione dei valori assoluti

Il terreno ha un pH basico, leggermente maggiore del range di ricristallizzazione, che farebbe quindi pensare ad un ambiente in cui ci può essere un'alterazione, seppur minima, nella composizione chimica delle ossa.

Calcio

Le analisi degli elementi in traccia rivelano un basso contenuto di calcio confermando l'appartenenza a terreni non calcarei, nonostante il pH basico. Nei campioni il calcio è presente in una buona concentrazione, denotando uno stato di salute ottimale degli individui analizzati, non si osservano differenze sostanziali tra maschi e femmine e tra adulti e bambini. Dai risultati delle analisi statistiche si osserva una concentrazione piuttosto omogenea nei reperti, maggiore nelle ossa rispetto ai denti, l'ANOVA rivela che c'è una differenza significativa tra le concentrazioni delle componenti dei vari reperti e il test post hoc LSD identifica una significativa disuguaglianza di questo elemento tra smalto e ossa; la minor concentrazione di Ca nello smalto rispetto alle ossa è coerente con la composizione chimica di questi reperti. Vanno messi in evidenza l'individuo femminile della T11 fase 2 ind 1 US 19 con 673 mg/g di Ca e l'individuo indeterminato T14 ultima fase con 734 mg/g di Ca, in entrambi i casi non si conosce, purtroppo la situazione della sepoltura, si può solo ipotizzare che ci siano stati delle possibili alterazioni *post mortem*; nel secondo caso si può, inoltre, ipotizzare uno stato di intossicazione dovuto agli alti livelli di zinco (582 ppm) e di manganese (267 ppm), quest'ultimo in concentrazioni alte influenza l'assorbimento del calcio. Il calcio nelle ossa del *Bos taurus* è alto rispetto al range fisiologico atteso, purtroppo il campione è stato prelevato da costa non essendo disponibili reperti con maggiore compatta, la spugnosa presente in questo osso può essere più soggetta ad alterazioni *post mortem*.

Stronzio

Lo stronzio è presente in basse concentrazioni sia nei terreni che nei campioni si nota

un'andamento simile di questo elemento, da far presupporre che l'ambiente di Fivizzano ne riveli un basso contenuto; da notare che nel *Bos taurus* la concentrazione è inferiore rispetto al range fisiologico atteso in un erbivoro, ma pur sempre maggiore rispetto agli individui umani.

Non si osservano differenze sostanziali tra maschi e femmine e tra adulti e bambini; la mancata discrepanza tra le concentrazioni presenti nell'età infantile e nell'età adulta fa presupporre, quindi, che la popolazione in esame non sia stata soggetta a fenomeni migratori. L'analisi statistica attraverso l'ANOVA evidenzia delle differenze significative tra le componenti dei reperti, dal test post hoc LSD risulta che la significatività si ha tra tutte le medie delle tre componenti. Lo smalto ha dei livelli di stronzio più bassi rispetto alla dentina e alle ossa, dove questo elemento è più alto. Questo risultato può avere il significato di un cambiamento nella dieta durante la crescita, con minor apporti di stronzio durante l'infanzia rispetto all'età adulta.

In generale tutta la popolazione ha bassi contributi vegetali, sicuramente per la posizione geografica, lo stronzio non deriva da cibi di provenienza marina.

Zinco

Lo zinco è presente nel terreno, in alcuni casi supera addirittura la concentrazione soglia, questa cosa non si ripercuote sugli individui che appartengono ai suoli delle sepolture analizzate. Nei campioni non si osservano differenze tra maschi e femmine. Si osserva una certa variabilità nei dati confermata dall'analisi della varianza e dal successivo test post hoc LSD che evidenzia differenza significativa tra dentina e smalto e tra dentina e ossa, suggerendo una possibile perdita nelle ossa di questo elemento. Nei bambini lo zinco appare leggermente più basso rispetto agli adulti, le analisi statistiche confermano questo risultato ipotizzando una differenza alimentare nell'età adulta rispetto all'infanzia. I livelli di zinco sono comunque ottimali nella popolazione rivelando che gli apporti proteici sono il principale contributo alla dieta, durante l'infanzia sono giustificati, inoltre, da una lattazione prolungata. Nel *Bos taurus* i livelli di zinco sono più bassi rispetto alla popolazione umana, confermando la dieta prettamente erbivora di quest'animale, mentre nel *Sus scrofa* si osservano dei livelli maggiori rispetto all'erbivoro, ma inferiori rispetto agli individui umani. Vanno evidenziati alcuni valori molto elevati rispetto al range fisiologico atteso riscontrati nell'individuo indeterminato della T14 ultima fase (582 ppm) e nel maschio della T18

fase 6 ind 1 (336 ppm); il primo presenta dei livelli elevati sia di calcio che manganese suggerendo possibili contaminazioni *post mortem*, considerando che alcuni campioni di terreno presentano un valore di zinco notevolmente alto, in alternativa potrebbero essere sintomo di uno stato di intossicazione; il secondo oltre allo Zn elevato ha livelli di rame, manganese e piombo molto lontani dallo standard di riferimento, si può ipotizzare una contaminazione *post mortem* del campione, oppure l'individuo è entrato in contatto con questi metalli per attività svolte in vita che hanno provocato un'intossicazione e la conseguente fissazione nelle ossa.

Magnesio

Il magnesio è presente in concentrazioni omogenee nei suoli. Nei campioni si osserva un basso livello nelle ossa rispetto alle componenti dentarie, confermato dai risultati dell'ANOVA e dal test post hoc LSD che evidenzia una differenza significativa tra ossa e smalto e tra ossa e dentina. Il basso contenuto di magnesio nelle ossa suggerisce una perdita di questo elemento dovuta probabilmente all'affinità di questo ione con la grande quantità dello ione ossidrilico contenuto nel terreno di giacitura. La dentina essendo protetta dallo smalto non è soggetta a quest'alterazione. Non si osservano differenze tra adulti e bambini, mentre il contenuto di magnesio sembra essere più alto nello smalto degli uomini rispetto alle femmine, questa tendenza si inverte per quanto riguarda la dentina che è più alta nelle donne rispetto ai maschi. L'individuo femminile della US 3133 presenta un livello molto alto nella dentina (5575 ppm) come l'individuo indeterminato della US 3219 (6696 ppm), sono due valori per cui è difficile ipotizzare una contaminazione da parte del terreno di giacitura a causa della protezione fornita dallo smalto, a meno che non ci siano state alterazioni nei reperti.

La concentrazione di questo elemento suggerisce che ci siano buoni apporti cerealicoli e che insieme a quelli proteici siano alla base della dieta di questa popolazione.

Rame

Il rame nel suolo è alto, superando nel campione di terreno della T1 US4 (1785 ppm) ampiamente la concentrazione soglia. Nei campioni risulta basso con delle differenze significative tra le tre componenti evidenziate dalle analisi della varianza, nelle ossa è più alto rispetto alla dentina che ha sua volta ne ha un contenuto maggiore rispetto allo

smalto.

In generale non si osservano differenze tra maschi e femmine e tra bambini e adulti; la popolazione presenta una concentrazione più bassa rispetto al range fisiologico atteso, gli apporti proteici sono provenienti da cibi più nobili rispetto alle frattaglie che contengono rame, evidenziando uno stato sociale elevato per l'epoca degli individui esaminati. Da notare, come sottolineato prima, l'individuo maschile della T18 fase 6 bis ha un livello di rame molto alto (489 ppm). Si può in alternativa ipotizzare che un valore così alto possa essere dovuto a monete e altri oggetti di bronzo, deposti insieme al morto al momento della sepoltura e che siano entrate successivamente in contatto con le ossa dell'individuo.

Ferro

Il ferro rispetto al valore atteso nel suolo è basso. Nei campioni si presenta sostanzialmente inferiore al range con una variabilità non significativa messa in evidenza dall'ANOVA. Non si osservano differenze in base al sesso e all'età. Quest'elemento è noto per essere soggetto a fenomeni diagenetici sospettabili nel caso del maschio della T10 fase 2a ind 3 US24 (829 ppm).

Manganese

Il manganese è basso nel terreno, da notare la sovrapposizione della concentrazione di ossa e suolo nell'individuo della T10 fase 6 bis che suggerisce un'alterazione diagenetica, già evidenziata dal contenuto di ferro.

Nei campioni si osserva una variabilità probabilmente dovuta al caso visto che l'ANOVA non evidenzia differenze significative tra la concentrazione delle componenti dei reperti di questo elemento. La deviazione standard mette in evidenza una certa variabilità per ognuno dei composti analizzati suggerendo una variabilità intrinseca dell'elemento. Non si osservano cambiamenti nell'andamento del manganese tra maschi e femmine, negli adulti è sempre molto variabile e nella maggior parte molto alto, mentre appare più omogeneo e coerente con il range fisiologico atteso nei bambini. Negli animali si osserva la stessa variabilità presente nella popolazione umana.

Il manganese è molto sensibile alle alterazioni diagenetiche, caratteristica evidente dai dati ottenuti. L'omogeneità nei bambini potrebbe significare un'esposizione a

quest'elemento maggiore in età adulta oltre alla sospetta alterazione *post mortem*.

Piombo

Il piombo nel suolo supera in due campioni la concentrazione soglia, mentre nei relativi individui sepolti nella T1 US4 e nella T9 fase 2a ind 3 US 24 non si osservano livelli elevati nelle osse. Nei campioni presenta una certa variabilità nelle ossa, con picchi molto alti negli adulti, mentre i bambini hanno livelli omogenei e inferiori allo standard di riferimento. Da notare che alcuni individui come il maschio della US 3272 e la femmina della US 3133 presentano dei livelli simili e maggiori nella dentina e dell'osso (solo US 3272), mentre nello smalto sono più bassi, rispettando l'andamento osservato prima. Questo suggerisce una probabile esposizione al piombo in età adulta dovuta ad attività svolte in vita. L'ANOVA non evidenzia differenze significative tra le varie componenti per quanto riguarda questo elemento.

Le successive analisi statistiche utilizzando il test *t* di Student mettono in evidenza una differenza significativa nella componente osteologica, mentre non si osserva nelle componenti odontologiche.

Le possibili cause della probabile esposizione al piombo in età adulta possono essere diverse, sia una possibile attività lavorativa come i vasai che il consumo di vino contenuto in botti piombate molto in uso nell'epoca medievale. Dal momento che non tutti gli adulti presentano un'intossicazione da piombo sembra più probabile la prima ipotesi.

Patologie

Tra gli individui analizzati sono presenti alcune patologie riportate in tabella 21.

campione ID	età	sesto	patologie	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Sr (ppm)	Mg (ppm)	Ca (mg/g)
US 3307 o	bambino		nanismo	196	16	20	60	137	790	316
US 3307 s				143	5	8	36	45	2180	282
US 3307 d				168	5	5	44	79	2182	273
US 3357 o	bambino		nodi di Schmorl	124	13	4	50	85	1093	287
US 3357 M1 mand s				144	5	33	38	33	2357	454
US 3357 M1 mand d				199	5	24	37	79	1660	292
US 3357 M1 masc s				164	5	28	68	43	2014	262
US 3357 M1 masc d				229	7	41	131	72	1750	416
US 3168	bambino		cribra cranii	146	19	23	123	130	766	354
US 3272 o	adulto	m	neoplasia	195	10	27	39	96	757	444
US 3272 s				148	5	10	35	30	2836	252
US 3272 d				209	6	8	53	69	2301	277
US 3219 o	indet	indet	DISH	145	16	27	151	144	771	393
US 3219 s				165	5	60	61	28	2194	276
US 3219 d				210	9	83	96	32	6696	274

Tab 21 Patologie

Dalle analisi spettroscopiche degli elementi in traccia non si osservano particolari correlazioni con le patologie presenti negli individui studiati. Il calcio è presente in concentrazioni ottimali rispetto al range fisiologico atteso; lo stronzio, il manganese, il magnesio, il rame e lo zinco seguono l'andamento della popolazione; da notare è l'elevato livello di magnesio presente nella dentina della US 3219, ma non sono note correlazioni con la DISH, incluso che quest'elemento risulta alto solamente nella dentina e non nelle altre componenti. I

cribra cranii sono un sintomo di anemie, nell'individuo della US 3168 il ferro dovrebbe essere basso, mentre supera il range fisiologico, suggerendo una contaminazione, dal momento che è un elemento molto soggetto ad alterazioni diagenetiche. Avendo analizzato solo l'osso di questo campione non è possibile vedere il contenuto di ferro nei denti e rafforzare quest'ipotesi.

Nell'individuo della US 3357 che presenta ernie di Schmorl sui corpi vertebrali di toraciche e lombari, si nota il livello maggiore della concentrazione della dentina di uno dei due denti analizzati, si può supporre una contaminazione di questo reperto dovuta a cause sconosciute, non correlabili con la patologia riscontrata.

La presenza di ipoplasie dello smalto nella popolazione analizzata è coerente con stati di carenze alimentari in alcune fasi della crescita, come la lattazione prolungata evidenziata dai livelli di zinco nei bambini e dalla differenza significativa di questo elemento tra dentina e smalto. Le carie trovano conferma nel contenuto di magnesio piuttosto elevato nei denti che sta a significare una dieta ricca di carboidrati.

3.2.2 Discussione della correzione e standardizzazione con il sito

Al fine di standardizzare i dati ottenuti e trovare conferma alle ipotesi formulate, sono stati valutati i rapporti *elemento/calcio* nei reperti oggetto di studio.

Da ricordare come questo metodo venga normalmente utilizzato nei casi in cui non siano evidenti fenomeni di deplezione del calcio, che falserebbero i risultati; i dati in esame hanno una concentrazione di calcio coerente con il range fisiologico atteso e si può quindi escludere una perdita di questo elemento.

Dai rapporti *elemento/calcio* si può notare che lo stronzio (Sr/Ca) risulta più basso rispetto allo standard di riferimento confermando bassi apporti vegetali.

Lo zinco (Zn/Ca) mostra variabilità nelle ossa e un'omogeneità maggiore nei denti rispetto allo standard evidenziando anche nei rapporti il buon contributo di proteine animali.

Il magnesio (Mg/Ca) risulta basso nelle ossa rispetto ai denti, ribadendo ciò che avviene per i valori assoluti e accertando la quantità di apporti cerialicoli.

Il rame (Cu/Ca) appare molto omogeneo nelle tre componenti e basso rispetto al valore atteso, riaffermando la maggiore provenienza di proteine animali nobili nella dieta.

Il ferro (Fe/Ca) è variabile, con valori inferiori allo standard di riferimento.

Il manganese (Mn/Ca) è molto variabile con maggiore omogeneità nelle componenti dentarie che ricalcano il valore di riferimento.

Il piombo (Pb/Ca) è molto più omogeneo nei denti rispetto alle ossa.

In ognuno dei rapporti *elemento/calcio* si può notare come il valore dei rapporti rispecchi quello dei valori assoluti.

Per quanto riguarda il confronto dello Sr/Ca e Zn/Ca della fauna si vede che i valori dell'erbivoro *Bos taurus* di Sr/Ca sono leggermente maggiori rispetto alla popolazione umana, mentre quelli di Zn/Ca sono inferiori.

L'onnivoro *Sus scrofa* ha invece un valore maggiore di Sr/Ca rispetto a tutti i campioni, incluso l'erbivoro, lo Zn/Ca di quest'animale risulta intermedio tra il valore inferiore dell'erbivoro e maggiore della popolazione umana.

In questo studio un limite della comparazione è non avere campioni provenienti da un animale carnivoro per osservare il valore dei rapporti.

3.2.3 Discussione dei confronti con siti sincroni, diacronici e eterotopici

Vegani

A causa della diversa natura del campione, i valori dello studio effettuato su donne vegane, non sono confrontabili direttamente con i dati di Fivizzano. I range fisiologici del plasma sanguigno si differenziano dal range fisiologico dei reperti osteologici e odontologici. Possiamo comunque valutare se ci sono differenze tra le donne analizzate e notare se si osservano discostamenti nell'andamento dei dati corrispondenti agli individui femminili in analisi.

Vegane giapponesi (n=12)	Età 48,4 ± 12,9	Donne giapponesi (n=1053)	Età 30-49 anni	Donne Fivizzano (n=9)	adulte
	Media ± SD		Media ± SD		Media ± SD
Calcio (mg)	361 ± 122	Calcio (mg)	440 ± 224	Calcio (mg/g)	265 ± 89
Magnesio (mg)	494 ± 112	Magnesio (mg)	214 ± 80	Magnesio (ppm)	2153 ± 1146
Ferro (mg)	13 ± 2,4	Ferro (mg)	6,9 ± 3	Ferro (ppm)	43 ± 20
Zinco (mg)	8,3 ± 1,6	Zinco (mg)	7,1 ± 2,4	Zinco (ppm)	181 ± 62
Rame (mg)	1,75 ± 0,37	Rame (mg)	1 ± 0,35	Rame (ppm)	14 ; 15
Manganese (mg)	7,5 ± 2,2	Manganese (mg)	-	Manganese (ppm)	14 ± 7

Tab. 22 Medie e deviazioni standard degli individui femminili

Si osserva che il calcio delle vegane è inferiore a quello delle giapponesi con dieta onnivora e che in queste ha una maggiore variazione; negli individui femminili di Fivizzano, invece, il calcio è più omogeneo rispetto agli altri. Il magnesio, legato al consumo di cereali e frutta, risulta più alto nelle vegane rispetto alle onnivore e nel sito di Fivizzano è inferiore rispetto al range fisiologico nonostante presenti un'alta variabilità. Il ferro, il rame e il manganese nelle vegane è dovuto a una dieta ricca di legumi e cereali. Nelle donne onnivore sia giapponesi che quelle di Fivizzano, si può osservare come questi elementi siano presenti in quantità più basse. Negli individui femminili in studio la dieta ha apporti principalmente di origine animale, con un livello di zinco coerente con il range fisiologico. Lo zinco nelle vegane, invece presenta dei livelli più alti rispetto alle giapponesi in studio, l'apporto di questo elemento si suppone sia dovuto a proteine di origine vegetale, nonostante sia più basso del range fisiologico di riferimento.

Da questa comparazione basata sui rispettivi range fisiologici della natura del campione che su un reale confronto si ribadisce che la dieta degli individui di Fivizzano è ben lontana da un regime alimentare vegetariano.

Roccapelago e popolazioni artiche

SITO	Zn/Ca	Sr/Ca	Cu/Ca	Mg/Ca	Mn/Ca	Fe/Ca	n° campioni
	Media - d.s	Media - d.s	Media - d.s	Media - d.s	Media - d.s	Media - d.s	
Roccapelago	0,34 - 0,03	0,39 - 0,08	0,002 - 0,001	9,1 - 0,55	-	-	15
Inuit	0,51 - 0,22	0,84 - 0,48	0,03 - 0,15	9,3 - 3,6	0,85 - 1,56	5,7 - 11,7	12
Fivizzano	0,54 - 0,16	0,36 - 0,09	0,11 - 0,24	3,15 - 0,99	0,16 - 0,28	0,29 - 0,45	33

Tab. 23 Confronti media e deviazione standard tra i vari siti

Il calcio nelle popolazioni antiche non denota segni di carenze, anche nel sito di Fivizzano la concentrazione è ottimale, mentre gli individui di Roccapelago hanno esigui livelli di calcio, uniformemente riscontrati in tutti i campioni.

Lo stronzio negli Inuit è in alte concentrazioni dovute a una dieta composta principalmente da mammiferi marini che lo assorbono dall'acqua del mare; i mammiferi marini hanno i livelli di questo elemento più alti rispetto ai mammiferi terrestri. L'orso polare ha livelli di Sr maggiori rispetto al caribù, dovuti al predare mammiferi marini. Lo stronzio è variabile a seconda del periodo della popolazione in esame; lo zinco è alto coerentemente a una dieta prettamente carnivora; le concentrazioni di stronzio e zinco nella popolazione di Roccapelago sono inferiori alla norma, evidenziano un quadro nutrizionale in cui il consumo di proteine animali, frutta e verdura risulta essere praticamente inesistente.

Nel sito in esame si osserva che gli apporti proteici dovuti allo zinco sono alti come quelli delle popolazioni antiche, mentre gli apporti vegetali dovuti allo stronzio hanno lo stesso livello di quelli di Roccapelago

Il magnesio nelle popolazioni antiche più antiche è più alto, questo suggerisce una variazione della quantità di grassi nella dieta e un aumento del consumo di pesce e caribù. I consistenti livelli di concentrazione di quest'elemento nel sito di Roccapelago, simili agli Inuit, ma di origine cerealicola fanno pensare che i cereali rappresentino la principale fonte di nutrimento. Nella popolazione di Fivizzano si notano i bassi livelli di Mg rispetto agli altri dovuti alla perdita di quest'elemento durante la sepoltura, mentre in Roccapelago non si ha la variazione di magnesio, dovuta a campioni provenienti da individui mummificati naturalmente in spazio vuoto a causa delle condizioni microclimatiche.

Il manganese è estremamente variabile sia negli Inuit che in Fivizzano.

Il rame delle popolazioni antiche rispetta il range fisiologico inserendosi tra il valore

irrilevante della popolazione di Roccapelago e quello più consistente, ma sempre basso di Fivizzano.

Il ferro presenta dei picchi probabilmente dovuti a un massiccio inquinamento di alcuni campioni, la variabilità di questo elemento è evidente sia negli Inuit che in Fivizzano.

Dal confronto con gli Inuit si nota come il sito in esame abbia una dieta prettamente proteica al pari di popolazioni considerate quasi esclusivamente carnivore.

Comparandolo con il sito di Roccapelago la discussione si allarga non solo sulla tipologia di dieta, ma anche su un contesto storico-geografico completamente diverso. Fivizzano nel periodo del sito in esame, ebbe un periodo florido grazie alla posizione geografica che lo rende strategico come luogo di mercato, di sosta e raduno, mentre Roccapelago era una località isolata sull'Appennino modenese. Queste differenze sono dovute a una posizione geografica molto più vantaggiosa di Fivizzano rispetto a Roccapelago. Le analisi spettroscopiche evidenziano nella prima una popolazione sana, con un'alimentazione degna di uno status sociale elevato per i canoni dell'epoca medievale, mentre nella seconda una popolazione povera, con una dieta altamente sbilanciata in favore dei soli apporti cerealicoli.

3.3 Conclusioni

Il presente lavoro, attraverso la determinazione dei vari oligoelementi, aggiunge dei tasselli alla conoscenza della popolazione umana di Fivizzano nel XIV secolo.

Lo studio delle concentrazioni degli elementi in traccia in reperti osteologici, odontologici e nel terreno permette di ricostruire a livello socio-ecologico le interazioni del gruppo umano esaminato con l'ambiente circostante. La variabilità osservata dipende infatti, dall'alimentazione e dalle attività svolte in vita, oltre che da alterazioni *post mortem*.

Conoscere la dieta di una popolazione migliora la comprensione dei meccanismi di sussistenza, dell'organizzazione dell'economia, dell'assetto sociale e dello stato di salute. L'osservazione di due diverse componenti del dente consente di conoscere il valore della concentrazione dell'elemento analizzato durante l'età adulta e l'infanzia, al fine di capire se ci sono cambiamenti nella dieta e nelle attività svolte, o possibili migrazioni, ma non è questo il caso, se si osservano delle discrepanze dell'elemento stronzio.

Il confronto con i valori presenti nelle ossa degli stessi individui, serve inoltre, per

meglio individuare possibili alterazioni dovute alle reazioni chimico-fisiche di quest'ultime con il terreno di sepoltura e che evidenziano il successivo stato di conservazione.

Da un punto di vista strettamente metodologico va sottolineata la relativa semplicità delle analisi spettroscopiche; Fivizzano, inoltre si è rivelato un ottimo sito da analizzare per la quantità di reperti umani disponibili, non avendo purtroppo la stessa disponibilità di reperti faunistici e campioni di terreno. La mancanza di un campione appartenente a un animale carnivoro non ha permesso uno studio completo sulla correlazione di stronzio e zinco tra uomini e animali. L'esiguo numero di campioni di terreno ha permesso una discussione parziale su ciò che avviene tra l'individuo scheletrizzato e il suo terreno di giacitura. Nonostante questo, è stato possibile ricostruire un quadro piuttosto completo di questo gruppo umano, grazie anche alle comparazioni con i siti sincroni, diacronici e eterotopici.

BIBLIOGRAFIA e SITIGRAFIA

Andersen M.E., Gearhart J.M., Clewell H.J., 1999, *Pharmacokinetic Data Needs to Support Risk Assessments for Inhaled and Ingested Manganese*. *NeuroToxicology*, 20 (2-3), 161-172.

Anderson J.P.E., Domsch K.H., 1993. *The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils*. *Soil Biol. Biochem.* 25: 393-395.

Anderson R., Roussel A.M., Zouari N., Mahjoub S., Matheau J.M., Kerkeni A., 2001, *Potential Antioxidant Effects of Zinc and Chromium Supplementation in People with Type 2 Diabetes Mellitus*, *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 3, pp. 212–218.

Andretta M., Bacci A., Bartoli F., Cam D., Pierattini L., Righetti G., 2013, *Ricostruzione della dieta degli antichi abitanti di Roccapelago*, *Accademia del Frignano “Lo Scoltenna”*.

Bacci A., Bartoli F., Mallegni F., 2008, *Le indagini paleonutrizionali: un contributo allo studio delle strategie di sussistenza delle popolazioni del Paleolitico Superiore italiano*, *International Journal of Anthropology*, numero speciale, pp.187-194.

Bartoli F., 2005, *Terreni di giacitura (chimica del terreno)*, in Mallegni F. (a cura di), *Memorie dal sottosuolo e dintorni*, Plus, Pisa, pp. 31-37.

Bartoli F., Bacci A., 2009, *Regime alimentare nei gruppi umani del passato*, in Mallegni F. e Lippi B. (a cura di), n. 9, *Non omnis moriar*, CISU, Roma, pp. 201-219.

Beck L.A., 1985, *Bivariate analysis of trace elements in bone*, *Journal of Human Evolution*, vol. 14, pp. 496-502.

Begon M., Harper J. L., Townsend C. R., 1986, *Ecology. Individuals, Populations and Communities*, Blackwell Scientific Publications.

Berna F., Matthews A., Weiner S., 2004, Solubilities of bone mineral from archeological sites: the recrystallization window, *Journal of Archaeological Science*, 867-882.

Bisel S.C., 1980, *A pilot study in aspect of the human nutrition in the ancient eastern Mediterranean, with particular attention to trace minerals in several populations from different time periods*, Thesis for the degree of doctor in Philosophy, Washington, Smithsonian Institute.

Bratter P., Gawlin D., Lausch J., Rosick U., 1977, *On the distribution of trace elements in human skeletons*, *Journal of Radioanalytical Chemistry*, vol. 37, pp. 393- 403.

Brittenham G.M., Hoffman R., Benz E.J. Jr. Silberstein L.E., Heslop H.E., Weitz J.I., 2012, *Disorders of Iron Homeostasis: Iron Deficiency and Overload.*, eds. *Hematology: Basic Principles and Practice*. 6th ed. Philadelphia, Pa: Saunders Elsevier, :chap 4.

Brown A., 1974, *Bone strontium content as dietary indicator in human skeletal populations*, *Rocky Mountain Geology*, vol. 13(2), pp.47-48.

Bound J.P., Harvey P.W., Francis B.J., 1997, *Involvement of deprivation and environmental lead in neural tube defects: a matched case-control study*. *Arch Dis Child* ,76, pp. 107–12.

Capasso L., Kennedy C., Wilczac C., 1999, *Atlas of occupational markers on human remains*, Teramo

Carlson D. S., Armelagos G. J., Van Gerven D. P., 1974, *Factors influencing the etiology of cribra orbitalia in Prehistoric Nubia*, *Journal of Human Evolution*, 3 pp. 405-410.

Ceccanti B., 1994, *Alterazioni diagenetiche dei reperti ossei nel terreno – Metodi di analisi degli elementi in traccia, inquinamento e correzione del dato analitico per studi paleonutrizionali*, in Mallegni F., Rubini M., *Recupero dei materiali scheletrici umani in archeologia*, cap. 4, 193-222, CISU, Roma.

Ceccanti B., Landi A., Bartoli F., Mallegni F., Masciandaro G., Carmignani A., Macci

C., 2003, *Study and control of the geochemical process responsible of diagenetic alteration of archeological bones*, in Second International Conference on Soils and Archeology, Pisa.

Cecconi E., 2003, *Sepulture basso-medievali della Chiesa di San Giovanni Battista Fivizzano (MS): analisi paleobiologiche*, Pisa.

Colina M., Govoni M., De Leonardis F., Trotta F., 2006, *Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (D.I.S.H.)*, Reumatismo, 58, pp 104-111.

Comar C.L., Wasserman R.H., 1963, *Strontium*, in Lomar C.L., Bronner F., Mineral Metabolism, New York, vol. 2, pp. 523-572.

Connor M., Slaughter D., 1984, *Diachronic study of Inuit diets utilizing trace element analysis*, *Arctic anthropology*, vol. 21, no. 1, 123-134.

Delbono G., Fusari A., Ubaldi A., Duratti R., 2002, *The Manganese: tissue distribution after chronic administration in the rabbit*, Ann. Fac. Medic. Vet. di Parma (Vol. XXII).

Ferrando Cabona I. Crusi E., 1981, *Storia dell'insediamento in Lunigiana, Valle del Rosaro*, Genova.

Fidanza F., Liguori G., 1988, *Nutrizione Umana*, Napoli, Idelson.

Fornaciari G., Mallegni F., 1981, *Alimentazione e Paleopatologia*, in Archeologia Medievale, 8, pp. 335-358.

Fornaciari G., Mallegni F., 1989, *Nuovi metodi e prospettive nella paleoantropologia di età storica*, II Congresso Internazionale Etrusco 1985, Atti VIII, in Supplemento a Studi Etruschi, Roma, Bretschneider, pp. 1445-1479

Fox PL., 2003, *The copper-iron chronicles: the story of an intimate relationship*. Biometals.

Francalacci P., Borgognini Tarli S., 1988, *Multielementary Analysis of Trace Elements and Preliminary Results on Stable Isotopes in Two Italian Prehistoric Site. Methodological aspects*, in Grupe G., Herrmann B., Trace Elements in Environmental History, Proceedings in Life Sciences, pp. 41-52.

Gibson R., 1994, *Content and bioavailability of trace elements in vegetarian diets*, Am J Clin Nutr, 59 (suppl):1223S-1232S.

Giblin J., 2004, *Strontium Isotope and Trace Element Analysis of Copper Age Human Skeletal Material from the Great Hungarian Plain*, Unpublished undergraduate honor's thesis. Department of Anthropology, Florida State University, Tallahassee.

Gilbert R.I., 1975, *The trace element analysis of three skeletal Amerindian population Dickson Mounds*, PhD dissertation, University of Massachusetts.

Grupe G., 1988, *Impact of choice of bone samples on trace element data in excavated human skeletons*, Journal of Archeological Science, vol. 15, pp. 123-129.

Gustafson G., Koch G., 1974, *Age estimation up to 16 years of age based on dental development*, Odontologisk Revy, vol. 25, pp. 297-306.

Hillson S., 1996, *Dental Anthropology*, Cambridge, Cambridge University Press.

Kabata-Pendias A., Pendias H., 1985. *Trace elements in soil and plants*. CRC Press.

Karlson P., 1967, *The strontium content of human bones*, Journal of Biological Chemistry, vol. 185, pp.519-524.

Kaufman J.M., Audran M., Bianchi G., Braga V., Diaz-Curiel M., Francis R.M., Goemaere S., Josse R., Palacios S., Ringe J.D., Felsenberg D., Boonen S., 2013, *Efficacy and safety of strontium ranelate in the treatment of osteoporosis in men*. J Clin Endocrinol Metab., Anthropology, vol. 51, pp. 295-309.

Lambert J.B., Xue I., Buikstra J.E., 1989, *Physical removal of contaminative inorganic material from buried human bone*, Journal of Archeological Science, vol. 16, pp. 427-436.

Magath V., Marohn L., Fietzke J., Frische M., Thiel R., Dierking J., 2013, *Migration behaviour of twaite shad *Alosa fallax* assessed by otolith Sr:Ca and Ba:Ca profiles*, J Fish Biol.

Mallegni F., 2005, *Osteologia umana*, in Mallegni F. (a cura di), Memorie dal sottosuolo e dintorni, Plus, Pisa, p. 39.

Mertz W., 1987, *Trace elements in human and animal nutrition*, Fifth Edition, Academic Press, Inc.1.

Mirce F., 1984, *Il ruolo degli oligoelementi nella salute dell'uomo*. Introduzione alla Bioterapia Catalitica, Red Edizioni, Como.

Messina V., Mangels R., Messina M., 2004, *The dietitian's guide to vegetarian diets: issues and applications*. 2nd ed. Sudbury, MA: Jones and Barlett Publisher.

Mieczkowsli M., Matuszkiewicz-Rowinska J., Koscielska M., 2013, *Magnesium homeostasis*, Wiad Lek.

Montgomery J., 2010, *Passports from the Past: Investigating Human Dispersals using Strontium Isotope Analysis of Tooth Enamel*, Annals of human biology, vol. 37 (3), pp. 325-346.

Nobili M., *Famiglie signorili della Lunigiana fra Vescovi e Marchesi (secoli XII e XIII)*, in Ceti dirigenti dell'età comunale nei secoli XII e XIII, Atti del convegno (Firenze 14-15 dicembre 1979) Pisa, pp. 233-256.

Odum H.T., 1951, *The stability of the world strontium cycle*, Science, vol. 114, pp. 407-411.

Panero M.S., 1985. *Il pH del terreno*. Edagricole.

Pate F.D., Hutton J.T., 1988, *The use of soil chemistry data to address postmortem diagenesis in bone mineral*, Journal of Archaeological Science, vol. 15, pp. 729-739.

Paul E.A., Ladd J.N., 1981. *Soil Biochemistry*. Dekker.

Price T.D., Kavanagh M., 1982, *Bone composition and the reconstruction of diet: examples from the Midwestern United States*, Midcontinental Journal of Archaeology, vol. 7, pp.61-79.

- Prohaska J.R., 2014, *Impact of copper deficiency in humans*. Ann N Y Acad Sci.
- Remer T., Manz F., 1994, *Estimation of the renal net acid excretion by adults consuming diets containing variable amounts of protein*, Am J Clin Nutr, 59(6):1356-1361.
- Rude R.K., Gruber H.E., 2004, *Magnesium deficiency and osteoporosis: animal and human observations*, J Nutr Biochem.
- Sandford M.K., 1992, *A reconsideration of trace element analysis in prehistoric bone, in Skeletal Biology of past people: research methods*, Wiley Liss, pp. 79-103.
- Sharma S., Cao X., Roache C., Buchan A., Reid R., Gittelsohn J., 2010, *Assessing dietary intake in a population undergoing a rapid transition in diet and lifestyle: the Arctic Inuit in Nunavut, Canada*, Br J Nutr, 103 (5), 749-759.
- Schoeninger M.J., 1982, *Diet and the evolution of modern human from in the Middle East*, American Journal of Physical Anthropology, vol. 58, pp. 37-52.
- Schroeder H.A., 1973, *The trace element and man*, Old Greenwich, CT, Devin-Adair.
- Sillen A., Kavanagh M., 1982, *Strontium and paleodietary research: a review*, Yearbook of Physical Anthropology, vol. 25, pp.67-90.
- Smith B.R., Youngberg C., Finton D., Willey D., Williams T.R., Van Doren J.B., 1984, *A new procedure for separation of the enamel and dentin of human teeth*, Talanta 11, pp 955-8.
- Smrcka V., 2005, *Trace elements in bone tissue*, Karolinum Press, Praga.
- Squitti R., Hoogenraad T., Brewer G., Bush A.I., Polimanti R., 2013, *Copper status in Alzheimer's disease and other neurodegenerative disorders*, Int J Alzheimers Dis.
- Stain J.K., 1992, *Organic matter in archeological contexts*, in Soils and archeology,

landscape evolution and human occupation, a cura di V.T. Holliday, Washington and London, Smithsonian Institution Press.

Templeton D.M., 2003, *The importance of trace element speciation in biomedical science*, Anal Bioanal Chem., April, 375(8) pp 1062-6.

Turekian K.K., Kulp J.L., 1956, *Strontium content of human bones*, Science, vol. 124, pp. 404-407.

Underwood E.J., 1977, *Trace elements in human and animal nutrition*, New York, Academic Press.

Volpe G., 1923, *Lunigiana medievale*, Firenze

White E.M., Hannus L.A., 1983, *Chemical weathering of bone in archaeological soils*, American Antiquity, vol. 48, pp.316-32.

www.medicina-del-lavoro.com

Yoshida M., Ogi N., Iwashita Y., 2011, *Estimation of mineral and trace element intake in vegans living in Japan by chemical analysis of duplicate diets*, Health, vol. 3, no. 11, 672-676.

Ringraziamenti

Gente, che dire? Ce l'ho fatta!

L'elenco delle persone da ringraziare è lungo, mettetevi comodi, oppure andate avanti e sbirciate se ho inserito il vostro nome o meno.

Questa tesi è dedicata a mio nonno, anche se non c'è più, è stato il primo a dirmi in tempi non sospetti che sarei diventata biologa, profezia che all'epoca avevo ampiamente snobbato. Come vedete non ci avevo capito niente, ho preso pure la magistrale in biologia!

Le prime persone che vorrei ringraziare sono la mia famiglia, babbo, mamma, nonna e micia compresa (è sempre la stessa della triennale). Grazie di aver creduto in me e di avermi sostenuto nei momenti difficili di questi anni; Michelle, grazie delle fusa.

Vorrei ringraziare i miei relatori, il Prof. Mallegni e “Fulvio” il Dr. Bartoli, per avermi dato una possibilità quando avevo bisogno che me ne venisse offerta una. Ringrazio anche i miei controrelatori il Prof. Verni e soprattutto il Dr. Petroni, per il sostegno che mi hanno dato.

Un ringraziamento va anche ai miei coinquilini, passati e presenti, Giulia, Eleonora, Martina, Leonardo e Lizy, siete stati la mia famiglia fuori sede.

Ringrazio tutti gli amici, quelli ritrovati, quelli dell'università, quelli di vecchia data e tutte le persone con cui ho legato durante quest'esperienza: Valentina per aver condiviso esperienze di vita e innumerevoli serate pisane e non solo; Ilaria, Jessica, Irene, per esserci sempre state nonostante la lontananza; Lisa, Matteo, Daniela, Chiara, Jacopo, Alessandro, Stefano, per aver condiviso momenti belli e brutti della vita universitaria, per i viaggi, le chiacchiere e le birre; Alessandra per essere un'amica oltre che una collega; Valentina (parente) per essere diventata un'amica.

Emanuele, grazie di credere in me più di me stessa, per tutta la pazienza e la tranquillità di questi mesi, per tutti i gesti importanti di cui non credevo di essere capace, o più semplicemente grazie di esserci.

Vorrei ringraziare anche me stessa, nonostante gli attimi di sconforto, le delusioni, le scelte sbagliate, concludo come ho iniziato, ce l'ho fatta.