



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MACERATA**

*Dipartimento di Giurisprudenza*

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE GIURICHE

---

CICLO XXXI

**Stima dell'età ossea sul vivente a scopo  
forense mediante analisi dei nuclei di  
ossificazione del carpo su Imaging a  
Risonanza Magnetica**

RELATORE

Chiar.mo Prof. Mariano Cingolani

DOTTORANDO

Dott. Roberto Scendoni

CORRELATORE

Chiar.mo Prof. Roberto Cameriere

ANNO 2019

**INTRODUZIONE - L'importanza della stima dell'età e gli ambiti di intervento sul vivente** **3**

**CAPITOLO 1 - L'ACCERTAMENTO DELL'ETÀ NEI MINORI E NEGLI ADULTI: STATO DELL'ARTE**

<b>1.1 CRESCITA E MATURAZIONE SCHELETRICA</b>	<b>7</b>
<b>1.1.1 OSSIFICAZIONE DELLE OSSA CARPALI</b>	<b>13</b>
<b>1.2 PRINCIPALI CRITERI METODOLOGICI</b>	<b>15</b>
<b>1.2.1 LE PROCEDURE PER LA STIMA DELL'ETÀ IN SOGGETTI MINORI</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2 LE PROCEDURE PER LA STIMA DELL'ETÀ IN SOGGETTI ADULTI</b>	<b>21</b>
<b>1.3 AGE ESTIMATION PROJECT (UNIMC): I METODI DI CAMERIERE</b>	<b>26</b>
<b>1.3.1 L'AREA DEL CARPO E DELLE OSSA CARPALI</b>	<b>27</b>
<b>1.3.2 RAPPORTO TRA L'AREA DELLA CAVITÀ PULPARE E L'AREA DEL DENTE</b>	<b>29</b>
<b>1.3.3 L'INDICE DEL TERZO MOLARE</b>	<b>31</b>
<b>1.3.4 IL METODO DEGLI APICI APERTI</b>	<b>33</b>
<b>1.3.5 FORMA DELLA IV VERTEBRA CERVICALE</b>	<b>34</b>
<b>1.3.6 FUSIONE DELLE EPIFISI DEL GINOCCHIO</b>	<b>36</b>

**CAPITOLO 2 - QUESTIONI GIURIDICHE, ETICHE E MEDICO-LEGALI IN TEMA DI ACCERTAMENTO DI ETÀ NEL MINORE**

<b>2.1 TUTELE PER I MINORI STRANIERI NON ACCOMPAGNATI</b>	<b>38</b>
<b>2.2 MINORE E REATI: L'ISTITUTO DELLA MESSA ALLA PROVA</b>	<b>43</b>
<b>2.3 NORME E GARANZIE IN MATERIA DI ACCERTAMENTO DELL'ETA'</b>	<b>51</b>
<b>2.4 ASPETTI ETICI NELLA VALUTAZIONE DELL'ETÀ NEL MINORE</b>	<b>55</b>

<b>2.5 L'IMPRONTA MEDICO-LEGALE</b>	<b>58</b>
<b>CAPITOLO 3 - LA RISONANZA MAGNETICA NELLA STIMA DELL'ETÀ: UNA NUOVA PROSPETTIVA</b>	
<b>3.1 FENOMENI DI RISONANZA MAGNETICA</b>	<b>64</b>
<b>3.2 IL CONTRIBUTO DELLA RM NELLA DETERMINAZIONE DELL'ETA'</b>	<b>67</b>
<b>3.3 LA RM PER LA VALUTAZIONE DELLO SVILUPPO DELLE OSSA DEL DISTRETTO MANO-POLSO</b>	<b>72</b>
<b>CAPITOLO 4 - PROGETTO DI RICERCA: STUDIO DELL'OSSIFICAZIONE DELLE OSSA CARPALI SU IMMAGINI RM PER LA STIMA DELL'ETÀ</b>	
<b>4.1 RAZIONALE DELLO STUDIO</b>	<b>82</b>
<b>4.2 MATERIALI E METODI</b>	<b>85</b>
<b>4.3 RISULTATI</b>	<b>89</b>
<b>4.4 DISCUSSIONI</b>	<b>90</b>
<b>4.5 CONCLUSIONI</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>94</b>

## **INTRODUZIONE - L'importanza della stima dell'età e gli ambiti di intervento sul vivente**

Negli ultimi anni le indagini scientifiche volte alla stima dell'età di un soggetto hanno ampliato notevolmente i loro orizzonti, dal cadavere al vivente.

La stima dell'età su cadaveri e su scheletri (o resti scheletrici) nell'ambito della medicina legale ha una lunga storia; basti pensare che la stessa medicina legale è una disciplina improntata con lo scopo di applicare le conoscenze mediche al diritto, nata sviluppata principalmente con lo studio del cadavere, non soltanto ai fini della determinazione della causa della morte mediante indagini anatomo-patologiche, bensì con finalità più ampie tra cui quelle volte a risolvere problematiche inerenti l'identificazione personale e la stima dell'età.

La stima dell'età applicata su soggetti viventi costituisce un'area di indagine relativamente recente che sta diventando sempre più rilevante sotto diversi profili, soprattutto nella definizione di un soggetto come minore. La problematica maggiore in questo ambito di indagine è la difformità, di entità più o meno rilevante, tra l'età anagrafica di un soggetto e la sua età biologica. Pur essendoci una stretta correlazione tra gli indicatori d'età biologica e l'età reale di un individuo, essa non è mai lineare; il problema scaturisce soprattutto allorché si devono analizzare soggetti che hanno un'età vicina a valori soglia (es: 14 o 18 anni), di determinante importanza a fini giudiziari o amministrativi.

Esistono attualmente diverse linee guida e associazioni scientifiche che si occupano di effettuare ricerca e uniformare le modalità di applicazione dei metodi analitici e la presentazione dei risultati. In ambito europeo le società più impegnate nel merito sono il FASE (Forensic Anthropology Society of Europe), sezione di IALM (International Academy of Legal Medicine) la più importante associazione scientifica medico-legale in Europa, e l'AGFAD (The international interdisciplinary Study Group on Forensic Age

Diagnostics), di origine tedesca. Le medesime società scientifiche hanno anche elaborato le rispettive linee guida [1], senza tralasciare la pedissequa osservazione delle norme di raccolta anamnestica e di esame obiettivo comunemente impiegate in ambito clinico. Anche altri gruppi internazionali di esperti hanno pubblicato linee guida e raccomandazioni sulla stima dell'età, come l'American Board of Forensic Odontology (ABFO) [2] e l'International Organization for Forensic Odonto-Stomatology (IOFOS) [3]. La stima dell'età sui viventi ha motivi pratici con esecutive conseguenze giuridiche che possono concernere diversi ambiti, come di seguito riportato.

#### *STIMA DELL'ETÀ IN SUBADULTI NEL CORSO DI PROCEDURE DI ADOZIONE*

La stima dell'età eseguita nel corso di procedure di adozione ha come fine l'accertamento dell'età biologica allo scopo di effettuare un adeguato inserimento nelle classi scolastiche. A richiedere tale accertamento possono essere sia i genitori che il Tribunale per i minorenni che dispone, in presenza di dubbi sulla reale età e/o disparità rispetto all'età riferita dalle autorità locali, una consulenza per l'accertamento dell'età, di frequente compendiata di una valutazione neuropsichiatrica. Detta valutazione non sempre risulterebbe significativamente utile, allorchè via sia una richiesta da espletarsi in tempi brevi o in presenza di stranieri non accompagnati ove risulterebbe necessaria una mediazione culturale.

#### *STIMA DELL'ETÀ PER L'ACCERTAMENTO DELLA MINORE ETÀ PER ATLETI IN COMPETIZIONI SPORTIVE AGONISTICHE*

La FIFA (Fédération Internationale de Football Association) in data 18 dicembre 2004 ha approvato il "Regolamento sullo status e sui trasferimenti dei calciatori"; tale documento, entrato in vigore il primo luglio 2005, detta i principi generali riguardanti il calcio professionistico in ambito internazionale. In particolare l'art. 19 del Regolamento, al fine di assicurare un ambiente stabile per la formazione e l'educazione dei giocatori, pone la regola generale per cui un trasferimento internazionale è consentito solo se il giocatore ha compiuto i 18 anni di età o più (salvo alcune eccezioni), enucleando severe

sanzioni e punizioni a carico delle società che si fanno carico di trasferimenti con tesseramenti illeciti. Sempre la FIFA è intervenuta in materia di accertamento dell'età onde preservare la liceità di tornei agonistici per minori in campo internazionale/mondiale, con la messa in atto di controlli sia amministrativi che di carattere medico. Da qui è scaturita, soprattutto nel corso dell'ultimo decennio, la necessità di eseguire accertamenti diagnostici medico-strumentali per la stima dell'età in giovani atleti, laddove vi fosse il sospetto di un'età cronologica superiore a quella dichiarata.

#### *STIMA DELL'ETÀ PER L'ACCERTAMENTO DELLA MINORE O MAGGIORE ETÀ PER SCOPI FORENSI*

La stima dell'età in tal caso richiede di accertare se l'età biologica del soggetto sia superiore o inferiore alla soglia dei 14 o dei 18. La stima dell'età viene generalmente eseguita su immigranti, spesso clandestini, privi di documenti di identità validi e/o permessi di soggiorno, che forniscono alle autorità competenti generalità incomplete, dubbiose. Ai fini dell'imputabilità, la stima dell'età risulta di notevole complessità poiché sovente trattasi di soggetti in prossimità di una completa maturazione scheletrica e dentaria, con un margine di errore più ampio e conseguente difficoltà se non impossibilità a definirne con certezza l'età. In tale contesto assume estrema rilevanza lo sviluppo di metodiche specifiche, meglio se in combinazione tra loro, unitamente a percorsi mirati per la fascia di età 14-18. Più avanti affronteremo in dettaglio il tema dell'imputabilità minorile, con le problematiche ad esso connesse.

#### *STIMA DELL'ETÀ SU ADULTI AI FINI DELL'ACCERTAMENTO DEL RAGGIUNGIMENTO DELL'ETÀ PENSIONABILE*

La determinazione dell'età può risultare altresì di estrema importanza in soggetti adulti, i quali possono richiedere la verifica della propria età a scopi civilistici, come ad esempio il raggiungimento dell'età pensionabile. Tale evenienza può occorrere per gli immigrati che arrivano in Italia o in altri paesi della Comunità Europea, senza indicazioni certe in merito all'età anagrafica. In alcuni casi risulta necessario stimare l'età del soggetto a

scopo identificativo, qualora lo stesso abbia avuto una amnesia su base patologica o traumatica [4]. Questi casi risultano assai complessi poiché non essendoci metodi validati scientificamente specificamente per l'adulto, non sempre si arriva ad una risoluzione. Approntare nuove tecniche di studio circa la determinazione dell'età ossea nell'adulto risulta una sfida aperta in ambito medico-legale e antropologico forense.

#### *STIMA DELL'ETÀ PER L'ACCERTAMENTO DEL REATO DI PEDOPORNOGRAFIA*

Un ulteriore contesto applicativo di stima dell'età sul vivente, destinato ad aumentare di proporzioni nella pratica forense, concerne l'accertamento del reato di pornografia minorile. Ovviamente si richiede una stima dell'età di soggetti ripresi in immagini fotografiche con riferimento ai 18 anni, nonché dei soggetti che riprendono qualora vi sia il sospetto che gli stessi non abbiano raggiunto la maggiore età.

Ciò premesso, appare evidente che nell'ambito delle scienze forensi vi sono discipline (medicina legale, antropologia, odontologia, ...) diverse tra loro ma che hanno, per determinate circostanze, il comune scopo di stimare l'età di un individuo. Prima di addentrarci nel nostro progetto di ricerca, è necessario inquadrare ulteriori questioni giuridiche, etiche e medico-legali, nonché fornire una descrizione dei metodi attualmente in uso per la determinazione dell'età nel vivente.

# **CAPITOLO 1 - L'ACCERTAMENTO DELL'ETÀ NEI MINORI E NEGLI ADULTI: STATO DELL'ARTE**

## **1.1 - CRESCITA E MATURAZIONE SCHELETRICA**

Il processo di crescita nell'uomo [5] è una fase in cui avvengono progressivi cambiamenti ed è caratterizzata da un aumento di massa e di volume, cui possono accompagnarsi modificazioni morfologiche più o meno pronunciate. Le modificazioni dello scheletro sono chiaramente correlate all'età, ma questa correlazione non è uguale o identica in tutti i soggetti, poiché viene ad essere influenzata da molti fattori che agiscono in maniera anche sinergica tra loro. Lo sviluppo scheletrico inizia dal tessuto connettivo embrionale (mesenchima) che, con la sua maturazione, subisce cambiamenti che portano alle caratteristiche tipiche di un soggetto adulto. I tre momenti fondamentali nello studio dell'età scheletrica sono:

- a) la comparsa di centri di ossificazione;
- b) i cambiamenti morfologici sino al completamento della formazione dei suddetti centri;
- c) la loro fusione.

I centri di ossificazione sono visibili dalla nascita per tutta la prima decade di vita e sono indicatori di età scheletrica (Tabella 1,2,3). I neonati hanno in genere sei caratteristici centri di ossificazione: l'epifisi prossimale (testa) dell'omero, l'epifisi distale (condilo) del femore, l'epifisi prossimale della tibia, il talus (astragalo), l'osso calcaneare e l'osso cuboide. Vi sono diversi fattori di variabilità da considerare nella valutazione della maturazione scheletrica, alcuni legati alle caratteristiche proprie del soggetto - individuali, sessuali, razziali, nutrizionali, funzionali e patologiche -, altre derivanti dalle diverse procedure di indagine effettuate nell'ambito di studi sperimentali basati su metodi osteologici e/o di diagnostica per immagine, nonché essere prettamente legati alle difficoltà tecniche nell'interpretazione dei dati ottenuti. Le modificazioni nella forma



e nella dimensione delle ossa sono quelle più comunemente prese in considerazione, in particolare quelle delle mani e dei denti, in quanto l'intero periodo di crescita dei bambini e giovani subadulti è contrassegnato da questi continui cambiamenti. La velocità di crescita delle diafisi delle ossa lunghe è elevata nel primo anno di vita, rallenta fino all'età di 6 anni e poi rallenta ulteriormente fino al 10° anno. Diversi studi hanno confrontato il progressivo allungamento delle diafisi delle ossa lunghe con l'età cronologica. Nella seconda decade di vita, i centri di ossificazione iniziano a fondersi, sia nelle ossa corte (mani, piedi) che lunghe (esclusa la testa dell'omero). Anche questi processi di fusione seguono una sequenza cronologica, sebbene sia meno affidabile di quella legata alla comparsa dei centri di ossificazione. Il processo di fusione prevede tre fasi, come di seguito riportato.

1. Caratteristiche macroscopiche: separazione netta dei centri di ossificazione primaria e secondaria, con superfici irregolari.
2. Fusione iniziale e/o parziale: i centri si fondono con le superfici di contatto; macroscopicamente, questa fase è rappresentata da una sottile linea irregolare, visibile dall'esterno.
3. Completa fusione: la linea che separa i centri di ossificazione non è più visibile.

Diversi studi hanno riportato differenze significative in termini di tempi e ossificazione dei centri principali. I primi studi sulla fusione nell'osso secco e sulle radiografie sono stati condotti da Stevenson, Todd e Stewart. I diversi tempi e modi di ossificazione e fusione nei principali centri di ossificazione sono brevemente descritti di seguito.

La clavicola è la prima parte del corpo in cui inizia l'ossificazione. Intorno al 39° giorno di vita, nella 6° settimana di vita intrauterina, inizia l'ossificazione degli abbozzi precartilaginei. Un secondo centro di ossificazione appare all'estremità della clavicola tra i 12 e 21 anni, e questa è l'ultima epifisi da unire.

Normalmente lo sterno ha sei centri primari di ossificazione: uno per il manubrio, quattro per il corpo e uno per il processo xifoideo. I tempi di comparsa variano tra 5 e 8 mesi nella vita intrauterina per il manubrio e il 1° il 2° e il 3° centro primario di

ossificazione, 1 anno per il 4° centro sternale e 3-6 anni per il processo xifoideo. La fusione tra il manubrio e la prima porzione sternale è rara, il 3° e il 4° si incontrano e si uniscono tra i 4 e gli 8 anni, il 1° e il 2° tra gli 8 e i 25 anni, il 4° parte con il processo xifoideo dopo i 40 anni.

L'ossificazione della scapola inizia da due centri primari (uno per il corpo - 8° settimana di vita intrauterina - e uno per il processo coronoideo) e da sette centri secondari centri. Inizia la fusione tra il processo coracoideo e il corpo della scapola intorno ai 15 anni e normalmente si completa ai 18 anni. I centri secondari di ossificazione dei bordi mediali e inferiori sono uniti a 23 anni. Il tempo di fusione di i centri secondari di ossificazione sono i seguenti:

- processo coronoideo 15-18 anni;
- fossa glenoidea 15-18;
- acromion 16-22;
- angolo inferiore 17-22;
- bordo mediale 17-23.

La colonna vertebrale è costituita da 33/34 vertebre (7 cervicali, 12 toraciche, 5 lombari, 5 sacrali e 4-5 coccigee). Le vertebre iniziano ad essere ossificate da tre centri primari, tra le 7 e le 20 settimane di vita intrauterina, e da cinque centri secondari, che compaiono durante la pubertà. Alla nascita, ogni vertebra è composta da tre parti: una mediana per il corpo, due laterali per l'arco. Le due parti laterali si uniscono in sinostosi tra 1 e 3 anni di vita e con il centro mediano tra 3 e 7 anni. Successivamente, vengono aggiunti un minimo di cinque nuclei epifisari. Questi iniziano a unirsi al corpo delle vertebre intorno ai 14 anni e finiscono tra i 17 e i 25 anni.

L'omero comincia a ossificarsi da un centro diafisario primario e sette centri epifisari secondari. Il primo appare a circa 45 giorni di vita intrauterina, i restanti a:

- 1-2 anni: centro di ossificazione della testa;
- 2-3 anni: centro di ossificazione del tubercolo maggiore;
- 3-5 anni: centro di ossificazione del tubercolo inferiore;

- 2-3 anni: centro di ossificazione dei condili;
- 5-8 anni: centro di ossificazione degli epicondili laterali;
- 11-12 anni: cresta media del troclea;
- 12-14 anni: epicondili mediali.

Le epifisi prossimali si uniscono intorno ai 6 anni di età e sono collegate al corpo per circa 20 anni. L'epifisi della testa dell'omero completa l'unione attorno ai 24 anni.

L'ossificazione del radio inizia da un centro diafisario primario, che appare intorno alla 8° settimana della vita intrauterina, e da due centri epifisari secondari. Un centro prossimale appare intorno ai 5-6 anni e si unisce tra i 16 e 18 anni, e il centro distale compare a 1,5 anni di vita e si unisce alla diafisi tra i 17 e i 18 anni negli uomini e tra i 16 e 17 nelle donne.

L'ossificazione dell'ulna inizia da un centro diafisario primario, che appare intorno alla 8° settimana della vita intrauterina, e da due centri epifisari secondari. Un centro prossimale appare intorno agli 11 anni, variando tra i 7 e i 14 anni, e si unisce a circa 19 anni; il centro distale compare circa a 6-7 anni e si unisce alla diafisi tra i 17 e 20 anni.

La pelvi si costituisce di tre parti: ileo, ischio e pube, e anche il loro sviluppo è ben differenziato. L'ileo appare intorno ai 2-3 mesi di vita intrauterina mentre l'ischio e il pube intorno ai 4-5 mesi. Il processo di ossificazione inizia intorno ai 7-8 anni e si completa intorno ai 17 anni, quando tutte e tre le componenti pelviche sono completamente unite. Altri centri epifisari secondari contribuiscono all'ossificazione dell'anca. Tutti compaiono durante l'adolescenza e, con grandi variazioni nel tempo, completano la fusione intorno ai 24 anni. La cresta iliaca appare intorno ai 12 anni nelle donne e 13 negli uomini e la sua completa fusione avviene a circa 23 anni.

L'ossificazione del femore inizia da un centro diafisario primario, che compare intorno all'8° settimana di vita intrauterina, e da centri epifisari secondari. Uno di questi è per l'epifisi distale, che appare durante l'ultimo mese di vita intrauterina; un centro per la testa compare a circa 1 anno, uno per il grande trocantere a circa 3-4 anni e uno per il

piccolo trocantere a circa 8-11 anni. L'unione tra il grande e piccolo trocantere è completa attorno ai 17-18 anni, e l'unione con la testa avviene circa un anno dopo.

Tabella 1 – Tempo di comparsa (in mesi) di 61 centri di ossificazione [6]

TEMPO DI COMPARSA	Maschio		Femmina	
	Media	DS.	media	DS
<b>Osso</b>				
Femore distale	0	0,1	0	
Tibia prossimale	0,1	0,3	0,1	
Cuboide	0,5	0,7	0,4	
Testa dell'omero	0,7	0,8	0,9	
Capitate	2,4	1,8	2,3	2,1
Uncinato	3,4	2,2	2,5	2,3
Tibia distale	3,9	1,5	3,4	1,4
Testa del Femore	4,4	2,0	3,7	1,6
Piramidale porzione laterale	4,4	4,3	3,8	4,4
Capitello omerale	6,3	4,3	4,1	3,6
Grande tubercolo omerale	11,4	7,2	6,6	3,3
Fibula distale	12,5	4,1	9,3	2,6
Radio distale	13,0	4,7	10,4	3,1
Falange prossimale 3° dito mano	16,2	5,3	10,6	2,8
Falange prossimale 1° dito piede	16,8	5,6	10,8	4,4
Falange prossimale 2° dito mano	17,3	5,0	11,0	3,0
2° metacarpo	17,9	5,1	12,2	3,8
Falange distale 2° dito mano	18,4	6,2	12,8	5,0
Falange prossimale 3° dito piede	19,5	5,2	12,8	3,7
Falange prossimale 4° dito piede	21,0	5,1	13,6	3,8
3° metacarpo	21,1	6,4	14,1	3,8
Piramidale porzione mediale	21,9	9,9	14,2	4,0
Falange prossimale 5° dito mano	22,2	5,6	15,2	4,2
Falange prossimale 2° dito piede	22,2	5,6	15,2	4,2
4° metacarpo	23,6	7,1	15,9	4,9
Falange media 3° dito mano	24,9	7,6	16,0	4,1
Falange media 4° dito mano	24,9	7,6	16,7	8,5
5° metacarpo	26,0	9,0	17,2	4,7
Falange media 2° dito mano	26,9	7,5	17,3	5,2
Processo piramidale osso palatino	27,3	15,9	19,9	5,9
1° Metatarso	27,7	4,7	20,1	3,3
Falange distale 3° dito mano	27,8	6,4	20,2	3,9
Falange distale 4° dito mano	28,3	7,0	20,3	5,3
Cuneiforme Mediale	28,4	11,2	20,3	5,5
1° metacarpo	29,8	7,3	21,3	7,6
Falange prossimale 1° dito piede	29,9	5,8	21,3	4,8
Falange prossimale 5° dito piede	32,0	5,9	21,6	5,1
Scafoide	33,4	13,4	23,6	13,7
2° metatarso	33,4	6,8	24,9	7,9
Falange prossimale 1° dito mano	34,8	7,9	25,5	7,0
Falange distale 2° dito mano	37,0	7,9	25,8	11,1
Falange distale 5° dito mano	37,4	7,4	25,8	6,1
Falange media 5° dito mano	40,3	11,7	25,8	6,9
3° metatarso	41,5	7,9	29,1	6,4
Grande trocantere femorale	42,6	7,6	29,8	6,4
Semilunare	46,0	19,3	30,7	7,9
Fibula prossimale	47,0	11,8	32,6	9,3
4° metatarso	48,7	9,0	32,8	
Falange distale 5° dito piede	51,2	10,1	34,0	

Patella	51,9	11,6	34,6	
Falange distale 3° dito piede	53,5	11,2	34,8	
5° metatarso	53,6	10,6	35,5	
Falange distale 2° dito piede	57,0	11,4	38,6	
Navicolare	60,1	14,1	41,3	
Radio prossimale	63,5	17,2	47,0	
Trapezio	64,3	19,7	47,5	
Trapezoide	64,4	15,2	47,8	
Epicondilo mediale dell'omero	73,6	17,5	48,3	
Ulna distale	82,4	10,6	63,2	
Epifisi calcaneare	89,6	14,0	63,7	

Tabella 2 – Tempo di iniziale fusione (anni + mesi) delle epifisi delle ossa lunghe

Epiphysis	Flecker [7]		Uberlaker [8]		Scheuer and Black [9]	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Humerus: proximal	16	15+ 9	14	14	16	13
Humerus: distal	14 +7	13 4	11	9	12	11
Medial epicondyle	12	10	15	13	14	13
Radius: proximal	14	13 10	14	13	14	11+.5
Radius distal:	17 +3	15+ 11	16	16	16	14
Ulna: proximal	—	11+ 10	—	—	13	12
Ulna: distal	17+3	15	18	16	17	15
Femur: head	14	13+ 4	15	13	14	12
Greater trochanter	15+10	14+4	16	13	16	14
Lesser trochanter	—	—	15	13	16	16
Femur: distal	16	14	14	14	16	14
Tibia: proximal	16	14	15	14	15	13
Tibia: distal	14+ 9	13	14	14	15	14
Fibula: proximal	16	14	14	14	15	12
Fibula: distal	15	14+10	14	13	15	12

Tabella 3 – Tempo di completa fusione (anni + mesi) delle epifisi delle ossa lunghe

Epiphysis	Flecker (1942)		Uberlaker (1989)		Scheuer and Black (2000)		McKern and Stewart [10] (1957)
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male
Humerus: proximal	19+ 2	20+ 5	21	20	20	17	24
Humerus: distal	16	16	15	13	17	15	17
Medial epicondyle	17	16	18	15	16	15	20
Radius: proximal	20 +5	19 +10	19	16	17	13	19
Radius distal:	23	20 5	20	19	20	17	23

Ulna: proximal	17+ 6	16	—	—	16	14	19
Ulna: distal	23	22	20	19	20	17	23
Femur: head	20+ 2	18+ 2	18	17	19	16	20
Greater trochanter	17 +6	16 +10	18	17	18	16	20
Lesser trochanter	17 +11	16 +10	17	17	17	17	20
Femur: distal	19	19	19	17	20	18	22
Tibia: proximal	19	18	19	17	19	17	23
Tibia: distal	18	16+ 4	18	16	18	16	20
Fibula: proximal	19+ 8	18	20	18	20	17	22
Fibula: distal	18	16+ 4	18	16	18	15	20

---

### 1.1.1 - OSSIFICAZIONE DELLE OSSA CARPALI

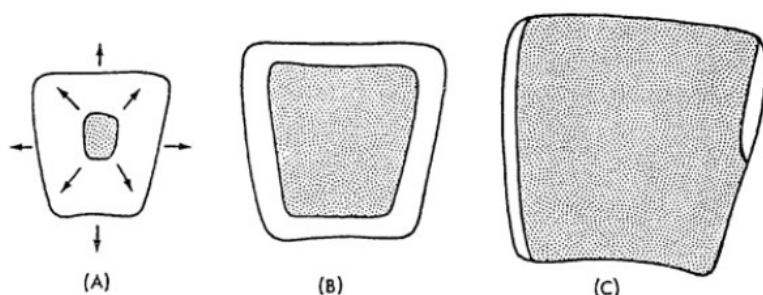
Benchè non esista una differenza sostanziale nel modo in cui si forma l'osso nelle diverse regioni dello scheletro, alcune ossa sono precedute nello sviluppo da una membrana fibro-cellulare, mentre la maggior parte deriva da bastoncelli o masse di cartilagine. Questi due differenti tipo di ossificazione sono rispettivamente denominati ossificazione intramembranosa (dermica) e ossificazione intracartilagnea.

Orbene, onde comprendere il target del nostro studio e la tipologia di analisi effettuata sulle ossa del carpo, come verrà ampiamente descritto in un capitolo successivo dedicato, risulta necessario esporre con maggior dettaglio come si concretizzi, sotto il profilo anatomo-isto-citologico, il processo di ossificazione endocondrale.

Come accennato, le ossa del carpo sono precedute da "modelli" cartilaginei di forma corrispondente; in questi modelli, la comparsa di centri di ossificazione è preannunciata da una sequenza ordinata di modificazioni. Il primo segno della comparsa di un centro primario di ossificazione si osserva quando i condroblasti si ingradiscono molto, il loro citoplasma si vacuolizza e si accumula glicogeno, mentre la matrice interposta si riduce ad esili sepimenti spesso perforati. Nei comuni preparati istologici risulta che, con il progredire dell'ingrandimento delle lacune, le cellule ipertrofiche degenerano gradualmente e alla fine muoiono. Al contempo le cellule dello strato profondo del pericondrio, che riveste la regione centrale del modello, si trasformano in osteoblasti e

depongono uno strato periferico fenestrato di osso. Questo manicotto periostale, che in sostanza si forma per ossificazione membranosa, ben presto si estende verso le estremità della diafisi, nonché in senso centrifugo per quanto attiene alle ossa del carpo.

Figura 1- ossificazione carpale in senso centrifugo, con progressivo assottigliamento della cartilagine esterna e ampliamento di spazio intracartilagineo ove avviene il progressivo accrescimento osseo



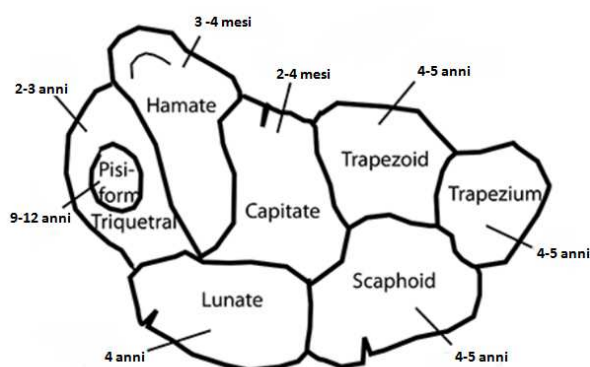
Il manicotto periostale, dove ricopre le pareti calcificate delle lacune dei condrociti, viene invaso da gemme osteogeniche che proliferano dagli strati profondi del periostio; dette gemme sono formate da capillari a fondo cieco, accompagnati da cellule osteoprogenitrici e osteoclasti. Questi ultimi si aprono la via attraverso l'osso neodeposto per passare all'interno della cartilagine calcificata, dove continuano a erodere le pareti delle lacune condrocitarie primarie; si formano in tal modo spazi comunicanti più ampi e irregolari, denominati areole secondarie. Queste vengono riempite da midollo osseo embrionale (mesenchima vascolarizzato, osteoblasti, osteoclasti e cellule emopoietiche e stromali), mentre le esili pareti di cartilagine calcificata che residuano vengono rivestite di uno strato di osteoblasti; questi depongono matrice osteoide che man mano si trasforma in placche confluenti di tessuto osseo, le quali rivestono completamente gli spazi. Il processo continua con l'aggiunta di ulteriori strati di osso, l'inclusione di giovani osteociti dentro le lacune e il restringimento degli spazi vascolari. Mentre procede la deposizione di osso subperiostale, cessa la formazione di osso sulle pareti delle areole centrali. L'erosione osteoclastica delle primitive spicole ossee porta alla formazione della cavità midollare primitiva, nella quale residuano solo alcune trabecole ossee, aventi un asse centrale di

cartilagine calcificata, che danno supporto ai tessuti del midollo in via di sviluppo; ben presto queste trabecole vengono rimodellate e sostituite con osso più maturo o midollo [11].

A differenza di altre molte ossa, quelle del carpo in genere ossificano ciascuna per un solo centro; primo è il capitato e ultimo il pisiforme, mentre l'ordine di ossificazione delle altre ossa è soggetto a variazioni [12]. La sequenza di ossificazione varia in rapporto al sesso [13], al tipo di alimentazione e, forse, alla razza [14].

Generalmente il capitato inizia a ossificare nel secondo mese; l'uncinato alla fine del terzo; il piramidale nel terzo anno; il semilunare durante il quarto; lo scafoide, il trapezio e il trapezoide durante il quarto nelle femmine e nel quinto per i maschi; il pisiforme incomincia a ossificare nel nono-decimo anno nelle femmine e nel dodicesimo nei maschi. L'ossificazione si rende completa solamente tra i 20 e i 24 anni [15].

Figura 2 – Ossa del carpo con i relativi tempi di comparsa dei centri di ossificazione



## 1.2 - PRINCIPALI CRITERI METODOLOGICI

Per meglio comprendere i criteri che consentono l'applicabilità di uno studio scientifico (stima dell'età), è utile fornire alcune definizioni [16] dei termini più di frequente utilizzati:



*Accuratezza/Misura accurata/Accuratezza di misura*: vicinanza tra valore misurato e valore vero. Viene espressa nella stessa unità di misura del risultato, come differenza tra il valore vero e quello trovato.

*Sensibilità*: capacità di ottenere i risultati positivi ad un test.

*Specificità*: capacità di identificare i risultati negativi ad un test.

*Cut-off*: punto al di sotto del quale il risultato di un test qualitativo è considerato negativo e al di sopra del quale viene considerato positivo (o viceversa).

*Falsi negativi*: soggetti in cui il valore trovato risulta negativo, quando in realtà si ha di fronte un soggetto positivo (es: minorenni erroneamente classificati come maggiorenni, ove la positività è rappresentata dal diciottesimo anno di età).

*Falsi positivi*: pazienti in cui il valore trovato risulta positivo, quando in realtà si ha di fronte un soggetto negativo.

*Affidabilità (precisione)*: capacità di un test di fornire lo stesso risultato nel corso di misurazioni ripetute.

*Validità*: capacità diagnostica del test di distinguere tra vero/falso o tra positivo/negativo.

*Riproducibilità*: vicinanza dei valori trovati sullo stesso campione in una quantità rilevante di misure successive. I parametri del metodo non devono subire modifiche durante le ripetizioni.

La riproducibilità delle misurazioni è una caratteristica fondamentale di qualsiasi metodo, come altrettanto fondamentale risulta identificare l'errore insito in esso legato a successive misurazioni. Per tale motivo negli studi metodologici vengono eseguiti calcoli statistici sulla capacità che un osservatore ha di riottenere le stesse misurazioni (variabilità intra-osservatore) o sulla possibilità che un osservatore diverso sia in grado di riprodurre le medesime misurazioni (variabilità inter-osservatore). Errori di misurazione possono derivare da: l'imprecisione, la scarsa scala degli oggetti all'interno di uno strumento, l'instabilità dello strumento di misura nel misurare lo stesso soggetto nel tempo, la possibilità di condizionamento di chi si accinge alla misurazione

prefigurandosi di ottenere determinati risultati. Vengono di concerto misurati due tipi di errore: l'errore intra-osservatore e l'errore inter-osservatore, che risultano valori importanti ai fini di una comparazione tra metodologie differenti.

I dati che possono essere ricavati da un'indagine statistica possono essere di natura differente; si parla in particolare di: variabili qualitative (o mutabili statistiche) che esprimono una qualità, ovvero le modalità sono dei valori non numerici; variabili quantitative (o semplicemente solo variabili), che esprimono una quantità, ovvero le modalità sono dei valori numerici. Il coefficiente Kappa di Cohen è un coefficiente statistico che rappresenta il grado di accuratezza e affidabilità in una classificazione statistica; è un indice di concordanza calcolato in base al rapporto tra l'accordo in eccesso e l'accordo massimo ottenibile; viene comunemente usato per valutare l'accordo tra osservatori: può variare da 0 a 1, dove zero esprime la mancanza di accordo e 1 l'accordo totale. In base poi ai valori intermedi tra questi due estremi, vengono espressi diversi gradi di concordanza. Per i test quantitativi occorre individuare un valore soglia (cut-off), preso sulla scala delle misurazioni effettuate, che è il valore che permette di dividere il campione in due: da una parte i soggetti che hanno valori di riferimento superiori al cut-off e dall'altra soggetti che invece presentano valori inferiori. Attenzione: scelto il valore numerico da assegnare al cut-off (scelta tra l'altro non facile e scontata), non tutti i soggetti che risultano positivi al test potranno risultare correttamente classificati! Questo avviene perché esiste una zona di sovrapposizione dei risultati.

In ambito forense quello che risulta fondamentale conoscere è se un soggetto, la cui età è da accertare, abbia superato o meno una determinata soglia d'età. Metodologicamente occorrerà pertanto procedere alla scelta di un valore cut-off e alla verifica di quanti sono i soggetti correttamente classificati e di quanti invece siano i falsi positivi ed i falsi negativi. L'operatore dovrà ricorrere all'utilizzo di metodologie in grado di ridurre al minimo gli errori tecnicamente inaccettabili e idealmente eliminare gli errori eticamente inaccettabili. E' infatti noto come la discrepanza fra risultati potrebbe essere

imputata al metodo in studio o a quello utilizzato come riferimento. Per questo motivo sarebbe auspicabile utilizzare come riferimento il metodo ritenuto “gold standard” o più metodi ritenuti scientificamente validi; è importante infine stabilire se le discrepanze siano o meno prossime ai valori di cut off prestabiliti. La pratica forense impone la riduzione massima di errori che potrebbero inficiare l'accertamento dell'età; un errore eticamente inaccettabile ha delle ripercussioni enormi in ambito giudiziario, in quanto l'errata classificazione di un soggetto minore può esporre il soggetto stesso a sanzioni penali e/o amministrative e/o civili.

### **1.2.1 - LE PROCEDURE PER LA STIMA DELL'ETA' IN SOGGETTI MINORI**

Ai fini della stima dell'età di soggetti in crescita gli indicatori maggiormente utilizzati sono quelli che permettono la valutazione della maturità sessuale, della maturità scheletrica e della maturità dentaria (per quest'ultima sono riportate nei testi di riferimenti appositi atlanti recanti lo schema dello sviluppo dentario). Le modificazioni che ossa e denti presentano durante la crescita di un individuo sono strettamente connesse a quelle del sistema riproduttivo, che è direttamente responsabile di molte modificazioni fisiche del corpo.

Nonostante l'importanza della verifica dell'età, in Italia esistono ancora procedure non standardizzate per tali scopi. Spesso nel caso in cui presunti minori che arrivano in Italia vengano valutati per l'età in contesti diversi, come ospedali o centri sanitari della comunità, viene solitamente utilizzata solo una radiografia della mano e del polso per determinarne l'età. Se questo risultato “corrisponde ad un'età adulta”, il soggetto è considerato un adulto, anche se i margini di errore per il metodo utilizzato spesso non sono presi in considerazione. In tali casi, oltre a essere soggetto ad espulsione, il soggetto può anche affrontare il rischio di essere accusato di falso in identificazione. Al fine di migliorare la precisione diagnostica e l'identificazione dei disturbi dello sviluppo legate all'età, più tecniche di stima dell'età dovrebbero essere eseguite su ogni individuo. Criteri per la stima dell'età sono stati recentemente revisionati dal Gruppo di

Studio internazionale e interdisciplinare sulla Diagnosi Forense dell'età (The Study Group on Forensic Age Diagnostics (AGFAD) [17,18], con particolare attenzione alle ripercussioni e implicazioni etico e/o giuridiche del minore.

Il gruppo ha proposto le linee guida per la stima dell'età nel vivente con una procedura in tre fasi:

- a) *esame fisico e analisi antropometrica*, compresa la valutazione dello sviluppo sessuale che è di fondamentale importanza nella diagnosi di arresto di crescita, o altre condizioni che potrebbero influenzare la stima accurata della maturazione scheletrica e dentale;
- b) *analisi dentale ortopantomografica (OPT)*;
- c) *studio rx di mano e polso sinistri* [19].

In presenza di una completa ossificazione della mano, si dovrebbe eseguire un esame rx o TC della clavicola. E' infatti noto come l'esame radiologico dell'epifisi mediale della clavicola è particolarmente utile nello stimare l'età dei soggetti che hanno raggiunto la maggiore età e, come il processo di maturazione della giunzione sterno-clavicolare, questo avviene relativamente tardi in confronto ad altre regioni anatomiche d'interesse utilizzate per la diagnosi di età [20].

L'AGFAD, così, ha evidenziato vantaggi e limiti per ogni metodo, e indicato soluzioni pratiche riguardanti il complesso processo di stima dell'età per adulti, subadulti e soggetti in crescita[21].

Esistono molti metodi per valutare lo sviluppo delle ossa della regione mano-polso. Le più popolari sono il Greulich e Pyle Atlas (GPA) [22], il metodo di Tanner-Whitehouse [23], e il metodo di FELS [24]. L'atlante di Greulich e Pyle fornisce una serie di radiografie standardizzate di mano e polso dalla nascita a 18 anni per le femmine e 19 anni per i maschi. L'atlante di Greulich e Pyle mette a disposizione una serie di radiografie standardizzate di mano e polso dalla nascita a 18 anni per le femmine e 19 anni per i maschi. Il metodo è di comparazione e avviene confrontando l'esame radiografico del probando alle immagini riportate in atlante.

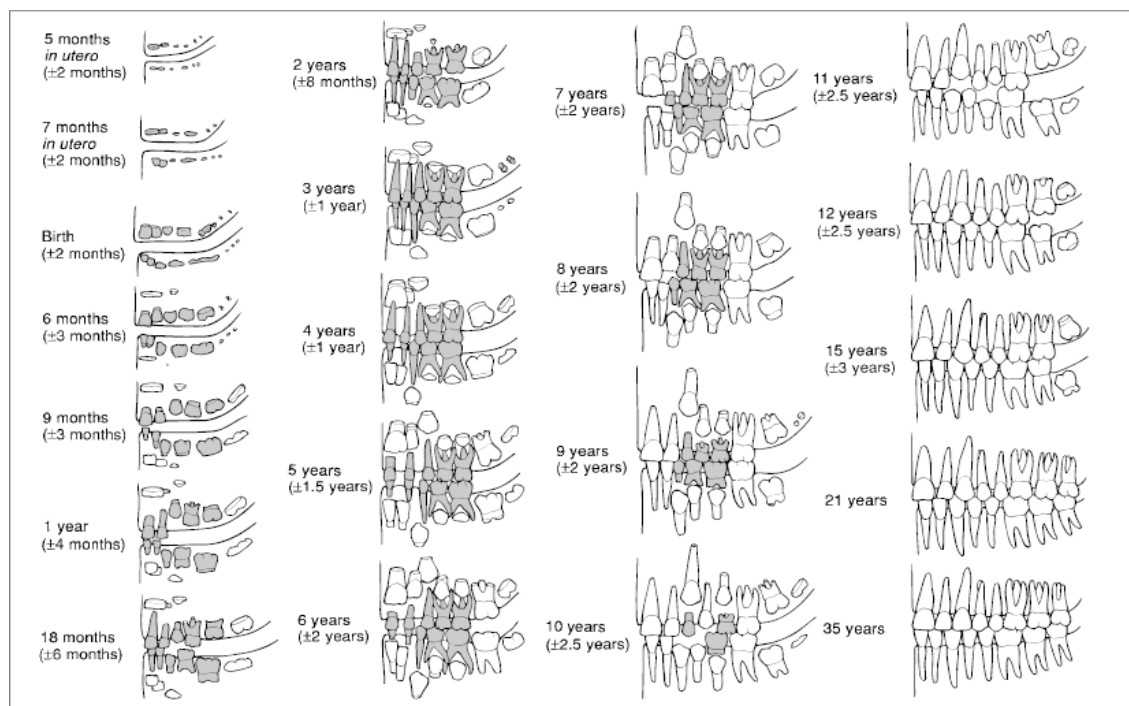
Uno dei metodi dentali più applicati e più ricorrenti in letteratura è quello di Demirjian [25], che prevede la classificazione secondo otto stadi di sviluppo della corona e della radice del dente. La tecnica prevede la valutazione dello stadio di formazione per ciascuno dei 7 denti permanenti (escluso il terzo molare), esaminato separatamente: ad ogni dente è quindi da attribuire uno stadio da A ad H (dalla comparsa dei primi centri di calcificazione alla chiusura degli apici della radici). I denti sono da valutare separatamente consultando una tabella che riproduce i diversi stadi in base alla tipologia di dente: molari, premolari, canini ed incisivi. Ad ogni specifico stadio corrisponde un valore, la somma dei valori degli stadi dei 7 denti permette di ottenere uno "score maturity" che tramite tabelle specifiche per ciascun sesso, è direttamente convertibile nell'età del soggetto. Sebbene considerato un metodo affidabile e utilizzabile a fini forensi, diversi studi hanno dimostrato un'elevata dipendenza dalle caratteristiche della popolazione specifica in esame. Inoltre alcuni studi hanno illustrato alcuni limiti: la scelta dello stadio in cui far ricadere il dente è soggettiva e non è possibile valutare l'età con precisione nei soggetti maggiori di 16 anni. Numerosi studi effettuati nel corso degli ultimi decenni hanno inoltre rilevato un lieve ritardo nella maturazione dell'originale popolazione franco-canadese, che comporta una sovrastima quando il metodo viene applicato ad altre popolazioni.

Le tecniche sopradescritte non sempre sono in grado di fornire risultati corretti; la maggior parte di essi comporta una lieve sovra o sotto-stima in relazione alla popolazione specifica campionata, con discordanze tra l'età biologica e quella anagrafica.

Nel 1993 Mincer et al. [26] hanno presentato un lavoro di studio sulla mineralizzazione del terzo molare; sono stati presi in esame 823 bambini americani caucasici, di età comprese tra 14 e 24 anni d'età. I risultati dello studio dimostrarono che il 90% dei soggetti femminili ed il 92% dei soggetti maschili che presentavano il terzo molare nella fase H di Demirjian (ossia completa formazione) avevano più di 18 anni. Molti studi negli anni hanno preso in considerazione il terzo molare pur non essendo di per sé un

indicatore ottimale per la stima dell'età: è stata indagata la misura della sua altezza [27], nonché il rapporto delle sue dimensioni [28,29].

Figura 3 – Schema dello sviluppo dentario e delle corrispondenti età (pre-nascita fino all'età adulta). In grigio la dentizione della decidua, in bianco quella permanente.



### 1.2.2 - LE PROCEDURE PER LA STIMA DELL'ETA' IN SOGGETTI ADULTI

La stima dell'età dei soggetti adulti costituisce una grande sfida per la medicina legale. Il deterioramento di alcuni caratteri scheletrici e dentari che si osserva negli adulti è meno correlabile all'età cronologica poiché questi caratteri subiscono l'influenza di diversi fattori ambientali (tipo di attività svolta, condizioni di vita e di salute, quadri patologici ...); tra l'altro i processi di invecchiamento mostrano grandi variabilità, sia all'interno di una stessa popolazione che tra popolazioni diverse. In ambito forense è necessario tener conto che i cambiamenti di età non sono uniformi nelle popolazioni e la variabilità tra gli individui all'interno della stessa popolazione spesso viene sottostimata. Ad oggi la stima dell'età in soggetti adulti trova maggior spazio in ambito antropologico-forense su resti

scheletrici, in cui con maggior facilità è possibile una utilizzazione combinata e coeva di più metodiche.

Nell'analisi scheletrica le procedure sono tradizionalmente focalizzate su quattro regioni principali: la sinfisi pubica (metodo di Suchey –Brooks), la superficie auricolare dell'ileo (metodo di Lovejoy, Meindl), la superficie articolare sternale della IV costa (metodo di Iscan) e le suture craniche [30]. Con lo sviluppo di tecnologie adeguate, che hanno consentito di osservarne la struttura interna, anche i denti sono risultati altamente informativi, tanto da essere ritenuti attualmente il miglior indicatore d'età disponibile per gli adulti.

#### *Metodo di Suchey-Brooks*

Pur essendo diversi i metodi che prendono in considerazione lo studio della sinfisi pubica, il metodo di Suchey-Brooks [31] resta ad oggi quello più utilizzato ai fini della stima dell'età [32]. Esso prevede una suddivisione in 6 stadi a secondo delle caratteristiche morfologiche della superficie articolare delle sinfisi pubica, che variano in rapporto all'età. Dandone una sintetica rappresentazione, lo stadio 1 si caratterizza per una superficie articolare con estrema ondulatura trasversale di creste ossee (billowing), pressochè parallele tra loro; alla periferia di tale superficie non esiste margine. Presenta un intervallo di confidenza (CI) di 17-22 anni nelle femmine e di 16-21 anni nei maschi. Lo stadio 6 mostra una superficie articolare profondamente alterata, degradata, con comparsa di erosioni alla superficie stessa ed ai margini ivi presenti. Presenta un CI di 48-72 anni per le femmine e di 49-73 per i maschi.

#### *Metodo di Lovejoy, Meindl*

Detto metodo [33] prende in considerazione la superficie auricolare dell'ileo e consente la stadiazione in 8 classi di età, basandosi sul principio dell'usura che colpisce le articolazioni con il passare del tempo. Semplificando tale approccio, è possibile affermare che nel soggetto giovane la superficie auricolare mostra un aspetto piuttosto denso con striature-creste trasversali, al pari della sinfisi in primo stadio. Nel soggetto

subadulto la superficie articolare va incontro a progressivo appianamento con riduzione delle strie; infine, nel soggetto adulto, si osserva una progressione dell'appianamento, la scomparsa delle strie sino all'evidenziazione di erosioni di carattere degenerativo.

Basandosi sulle osservazioni gli autori hanno creato otto fasi corrispondenti ad intervalli d'età: le prime classi sono strette mentre l'ultima fase comprende tutti gli individui maggiori di 60 anni. Questo metodo è stato ampiamente utilizzato nel corso degli anni, ma è anche stato sottoposto a studi di verifica con lo scopo di migliorare i risultati realmente corrispondenti all'età e pertanto di trovare un maggior impiego in ambito forense.

#### *Metodo di Iscan*

Il metodo [34] si basa sulla modificazione dell'estremità sternale della IV costa con il progredire dell'età del soggetto, assumendo l'aspetto di uno dei nove stadi proposti. Va precisato che la scelta della IV costa ha un significato sostanzialmente convenzionale. La superficie articolare studiata presenta i seguenti aspetti; nel soggetto giovane ha un aspetto concavo con margine periferico regolare, nel soggetto anziano ha una superficie caratterizzata da concavità molto profonde, dotata di margini salienti sottili ed assai irregolari per presenza di becchi osteofitici di natura degenerativo-artrosica. Nell'applicazione della tecnica effettuata da ricercatori su altri campioni non sono stati ottenuti risultati affidabili: si è arrivati a dimostrare sino ad un 50% di errore delle osservazioni. Inoltre, diversi test su campioni indipendenti hanno confermato che esistono importanti differenze tra le popolazioni [35].

#### *Metodo delle suture craniche*

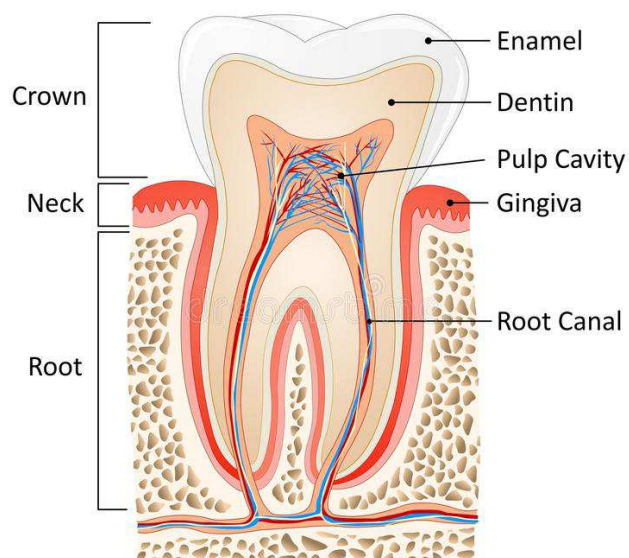
Tale indagine si fonda sull'asserto generale che tutte le articolazioni, con il tempo, tendono a ridurre la rima interarticolare, fino alla fusione completa. Per le suture craniche sono previsti 4 stadi di fusione (da 0 a 3). In base ai risultati ottenuti dai diversi studi, gli autori tendono comunque a rifiutare il carattere come indicatore d'età o a



ritenere che possa fornire indicazioni circa l'età di un soggetto, ma debba essere utilizzato unitamente ad altri indicatori [36].

### *Metodi dentari*

Figura 4 - Sezione e componenti anatomiche di un dente.



Si riportano in sintesi ad alcuni metodi che vengono comunemente applicati nella pratica forense e pertanto di maggior interesse medico-legale.

- IL METODO DI GUSTAFSON [37]

Si tratta dello studio istomorfologico dei denti monoradicolari che considera 6 fattori, quali l'usura, la formazione della dentina secondaria, l'apposizione del cemento, il riassorbimento della radice, il riassorbimento periodontale e la traslucenza della radice.

L'applicazione di questo metodo vede, oltre a questi 6 caratteri, un elemento di complessità della sua realizzazione, visto che sono necessarie le sezioni sottili longitudinali dei denti decalcificate (100 micron).

Il metodo prevede l'attribuzione di un punteggio a ciascun fattore; la somma di questi punteggi va inserita nella seguente formula:  $Age = 11.43 + 4.56 X$  (dove x è la somma dei punteggi dei fattori). Il metodo è stato ampiamente impiegato e in parte

anche tuttora, ma è stato oggetto anche di numerose controversie scientifiche. Un limite è stato quello di non aver considerato la variabilità dei singoli parametri in rapporto all'età.

- IL METODO DI LAMENDIN.

Rappresenta un adattamento del metodo di Gustafson: per calcolare l'età si utilizza la trasparenza della radice di un dente monoradicolare in rapporto alla lunghezza del dente e alla lunghezza della paradontopatia (area di discolorazione) in corrispondenza del colletto del dente.

- IL METODO DELL'APPOSIZIONE DI DENTINA SECONDARIA

La dentina secondaria è la sostanza compresa tra lo smalto (esterno), il cemento alla radice e la polpa del dente che viene costantemente prodotta durante la vita di una persona. Esistono due tipi di dentina: un tipo regolare, prodotto appunto in maniera regolare e continua che incrementa con l'aumentare degli anni, e un altro tipo irregolare che viene prodotto solo come risultato di condizioni patologiche. Per quella correlabile all'età, a seguito del suo incremento si verifica la conseguente riduzione delle dimensioni della cavità pulpare, osservabile attraverso immagini radiologiche o istologiche. Dopo alcuni lavori embrionali, in un lavoro nel 1926 [38] è venne indicata la dentina secondaria come fattore da porre in relazione all'età cronologica.

Nel corso degli anni sono stati numerosi gli studi condotti in ambito odontologico-forense ai fini della stima dell'età, su soggetti viventi e cadaveri. Allo stato attuale l'ortopantomografia è lo strumento odontoiatrico che consente, mediante un'unica immagine rx, di avere a disposizione una panoramica completa dell'assetto dentario, valutare l'eruzione o meno dei singoli elementi, misurarne le lunghezze e realizzando dei rapporti tra di esse permettendo in tal modo di utilizzare formule di modelli matematici in base al caso specifico, ai fini della determinazione dell'età.

### **1.3 - AGE ESTIMATION PROJECT (UNIMC): I METODI DI CAMERIERE**

Da diversi anni Roberto Cameriere esegue studi scientifici in ambito di antropologia e odontologia forense, inerentemente la stima dell'età e l'identificazione personale; studi che sono stati oggetto di pubblicazione su impattate riviste internazionali.

Sono state sviluppate diverse tecniche che prevedono la misurazione di distanze o di aree, utilizzando come supporto principale immagini radiologiche (radiografie, ortopantomografie o radiografie periapicali). Dette metodologie si caratterizzano peculiarmente per: l'utilizzo di supporti digitali con una rapida estrapolazione di dati e un'altrettanto veloce trasmissione di informazioni tra diverse figure di ricercatori; facilità e riproducibilità delle misurazioni; esposizione ad un basso dosaggio di radiazioni trattandosi, quelli presi in considerazione, di distretti anatomici ben circoscritti. Nel corso degli anni i vari modelli realizzati hanno subito modificazioni e applicazioni a campioni di diverse nazionalità al fine di definirne la precisione (accuratezza del metodo); sono infatti noti i limiti delle metodologie, nelle quali vi è un elevato valore di accuracy nel campione su cui sono state messe a punto, ma con parametri di modello non propriamente idonei e utilizzabili in altri campioni (soprattutto per quanto attiene alle diverse razze/etnie). Sono state anche affinate le tecniche di misurazione, mediante aggiornati e maneggevoli software, facilmente scaricabili e di concerto ubiquitariamente utilizzabili (es: ImageJ).

La ricerca espletata nell'ambito dell'AgeEstimation Project è stata rivolta principalmente per la risoluzione di problematiche connesse alla stima dell'età, analizzando individui appartenenti a diverse popolazioni e utilizzando gli indicatori scheletrici e dentari più opportuni a seconda della fascia d'età oggetto di indagine. Nel corso degli anni le varie tecniche analitiche hanno subito modificazioni con la realizzazione di modelli applicativi su campioni di diverse nazionalità. L'accuratezza nella valutazione dell'età con l'introduzione di metodiche sempre più innovative, in combinazione altresì con le tecniche oramai standardizzate, resta il principale target dell'attività del laboratorio

dell'AgeEstimation Project. La stima dell'età richiede studi in ambito clinico, forense, archeologico-antropologico in continuo aggiornamento; per questo è stato realizzato nel 2018 un sito dedicato al "progetto"[39], con la possibilità di caricare e mettere a disposizione dei ricercatori e degli utenti nuovi articoli, ove poter consultare e acquisire notizie circa eventuali workshop e/o corsi di carattere universitario in atto, nonché utilizzare direttamente le formule ricavate dai modelli dei metodi di Cameriere per le specifiche esigenze applicative (Fig. 5).

Figura 5 - Homepage del sito [www. agestimationproject.com](http://www.agestimationproject.com).



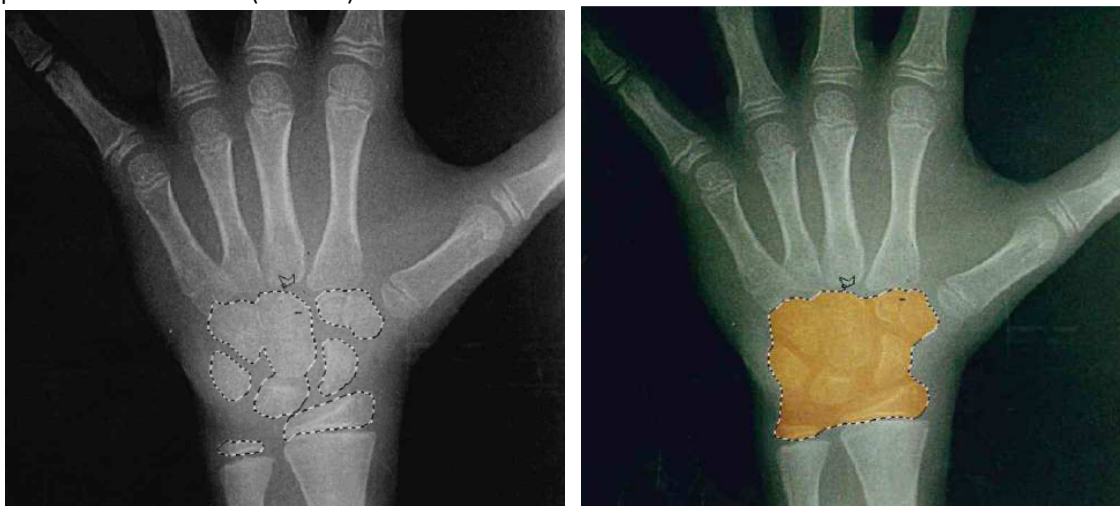
Avendo realizzato il progetto di ricerca di dottorato nell'ambito delle attività del laboratorio dell'AgeEstimation Project dell'Istituto di Medicina Legale UNIMC, appare doveroso illustrare, in estrema sintesi, i principali metodi approntati da Cameriere.

### **1.3.1- L'AREA DEL CARPO E DELLE OSSA CARPALI**

Il metodo [40] consente di determinare l'età nei bambini attraverso l'analisi di una rx della mano. Gli elementi da misurare sull'immagine sono l'area delle ossa carpali, delle epifisi distali di ulna e radio e del palmo della mano. L'area delle ossa carpali viene sommata all'area delle epifisi di ulna e radio e se ne calcola il rapporto con l'area totale della superficie del palmo della mano (Fig. 6). Qualora due o più ossa carpali risultassero

sovrapposte si deve calcolare un'unica area; questa vale sia per ossa carpali sovrapposte tra loro, sia se una o entrambe le epifisi sono sovrapposte alle ossa carpali.

Figura 6 - l'area delle ossa carpali e delle epifisi distali di ulna e radio -Bo- (a sinistra) e l'area totale del palmo della mano -Ca- (a destra).



Le dimensioni prese in considerazione vengono poi “normalizzate” e quindi si prende in considerazione il loro rapporto.

I valori misurati sull'immagine sono definiti:

-“Bo”: sta per “bones” ed è il valore che risulta dalla somma delle aree delle ossa carpali e delle epifisi distali dell'ulna e del radio;

-“Ca”: sta per “carpal” ed è il valore che risulta dalla misurazione dell'area del palmo della mano.

Questa metodologia è stata presentata per la prima volta nel 2006 ed è il risultato dell'analisi di un campione di rx di 150 bambini e adolescenti italiani; Il *range* d'età dei soggetti analizzati è compreso tra 5 e 17 anni.

I valori delle aree, inseriti all'interno della formula ottenuta dal modello, permettono il calcolo dell'età; la formula è la seguente:  $Age = -3.253 + 0.719 g + 20.610 Bo/Ca$ .

All'interno di essa l'unica altra variabile presente è *g* (gender) che corrisponde al sesso del soggetto; il valore da inserire al posto di *g* è 1 per i soggetti di sesso maschile e 0 per i soggetti di sesso femminile.

Nel 2008 [41] sono stati presentati i risultati dell'applicazione del metodo su un campione di 158 bambini ed adolescenti sloveni di età compresa tra 6 e 16 anni. Poiché i risultati mostravano un modello di regressione lineare simile a quello del campione italiano, è stato possibile valutare i due campioni nell'insieme: due modelli similari permettono di asserire che la nazionalità dei soggetti non ha influenze rilevanti.

È stata quindi calcolata la formula per il campione italo-sloveno:  $\text{Age} = -2.907 + 0.408 g + 20.757 \text{ Bo/Ca}$ . L'errore standard associato a questa formula risulta essere di 0.96 anni.

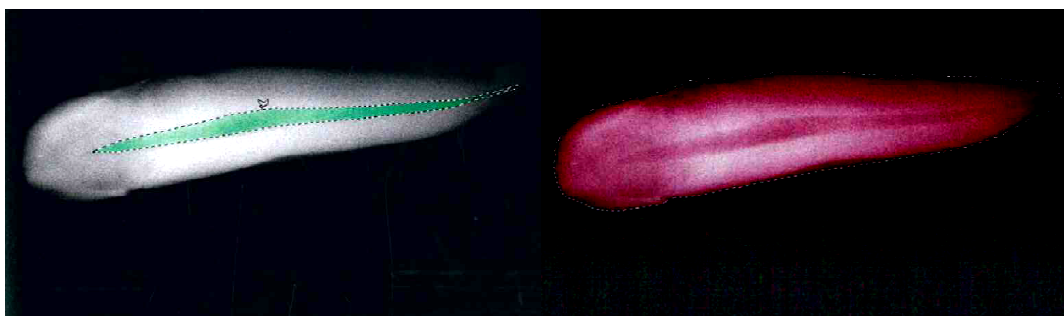
Nel 2014, è stato realizzato uno specifico modello [42] su un campione di radiografie 257 bambini ed adolescenti dell'Egitto, di età compresa tra i 4 e i 18 anni. In ultimo, nel 2016 [43] è stata riprodotta una nuova formula su 332 radiografie della mano di bambini ed adolescenti italiani di età compresa tra 1 e 16 anni; è stata sviluppata una nuova formula, con un errore standard di 1.54 anni e con risultati attestanti una alta riproducibilità del metodo:  $\text{Age} = -1.7702 + 1.0088 g + 14.8166 (\text{Bo/Ca})$ .

### **1.3.2 - RAPPORTO TRA L'AREA DELLA CAVITÀ PULPARE E L'AREA DEL DENTE**

Il metodo [44] prevede la misurazione di due aree: l'area della cavità pulpare e l'area totale del dente (Fig. 7). I valori di queste aree (che possono essere calcolati da un software di analisi dell'immagine -es. Image J -, dopo che l'area è stata selezionata con il comando "polilinea" o "lazo"), vengono inseriti all'interno di una formula appositamente predisposta, il cui risultato finale darà l'età dell'individuo.

Delle due misure, come accade di regola per le metodologie quantitative, viene preso in considerazione il rapporto (in questo caso specifico: area pulpare/area del dente), al fine di compensare le distorsioni angolari e d'ingrandimento prodotte dai raggi X. Tecnicamente si dice che le misure vengono "normalizzate".

Figura 7 - Misurazione tramite radiografia dell'area relativa alla cavità pulpare (a sinistra) e dell'area totale (a destra) di un canino.



Studi effettuati nel corso degli anni sono stati fatti prendendo in considerazione i soli denti monoradicolarati, soprattutto il canino [45], in quanto trattasi di dente di dimensioni maggiori, meno esposto all'usura e con un buon livello di sopravvivenza (facilmente rinvenibile in soggetti anziani). Nel modello pubblicato nel 2007 dopo aver analizzato 100 radiografie di denti relativi alla popolazione di Sassari, sono state proposte le seguenti formule:

$$\text{Age} = 114.624 - 431.183x_1 - 456.692x_2 + 1798.377 x_1x_2 \text{ (per entrambi i canini)}$$

$$\text{Age} = 89.456 - 461.873x_1 \text{ (per il canino inferiore)}$$

$$\text{Age} = 99.937 - 532.775x_2 \text{ (per il canino superiore)}$$

dove  $x_1$  è il rapporto tra l'area della polpa e l'area del dente nel canino superiore e  $x_2$  è il rapporto tra l'area della cavità e l'area del dente nel canino inferiore.

Nel 2009 [46] sono stati confrontati i dati ottenuti dall'analisi di un campione portoghese di sesso ed età nota, con i risultati precedentemente ottenuti sul campione italiano della collezione Frassetto. Sono state proposte 2 formule specifiche per il campione portoghese e 2 formule per il campione considerato invece complessivamente (italiano + portoghese):

$$\text{Age} = 101.3 - 556.68 \text{ RA}_u \text{ (campione portoghese - formula per il canino sup.)}$$

$$\text{Age} = 93.27 - 492.05 \text{ RA}_l \text{ (campione portoghese - formula per il canino infer.)}$$

$$\text{Age} = 100.598 - 544.433 \text{ RA}_u \text{ (campione portoghese + italiano - formula per il canino sup.)}$$

Age = 91.362 – 480.901 RA<sub>i</sub> (campione portoghese + italiano – formula per il canino infer.)

Nelle formule RA esprime il rapporto tra l'area della cavità pulpare e l'area del dente relativamente al canino superiore RA<sub>u</sub> e a quello inferiore RA<sub>i</sub>. La formula presentata in questo articolo è quella prevalentemente utilizzata attualmente nelle applicazioni, essendo stata ottenuta su un campione più ampio di soggetti. La metodologia ha trovato molte applicazioni sia in ambito forense, che nello studio di resti scheletrici provenienti da contesti archeologici. Nel 2015 è stato sviluppato e pubblicato un sistema completamente automatizzato che permette di analizzare la radiografia del dente per determinarne l'età in base alla formula proposta da Cameriere, eliminando i fattori di variabilità e di errore che intra e interosservatore nella lettura dell'immagine [47].

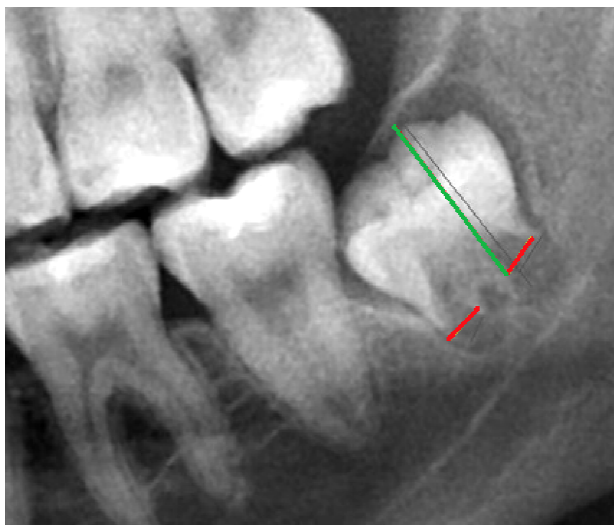
### **1.3.3 - L'INDICE DEL TERZO MOLARE**

Questa è una tecnica in cui viene preso in considerazione solamente il terzo molare, generalmente quello dell'emiarcata inferiore di sinistra [48].

La scelta di incentrare le analisi sul terzo molare deriva dal fatto che resta l'unico elemento dentario ancora in formazione superati i 12/14 anni; la scelta di considerare quello inferiore è legata al fatto che i molari presentano una variabilità maggiore nello sviluppo e non sono mai chiaramente visualizzabili nelle immagini ortopantomografiche. La metodica prevede il calcolo dell'indice del terzo molare (I<sub>3M</sub>) ottenuto dal rapporto tra l'apertura degli apici e lo sviluppo in altezza del dente. L'applicazione del metodo si basa sul considerare la tipologia di sviluppo del dente: se riguarda solamente la corona si otterrà l'I<sub>3M</sub> mettendo in rapporto la misura tra i due punti estremi del margine in formazione della corona con l'altezza massima raggiunta dal dente, misurata lungo l'asse del dente; se lo sviluppo del dente avrà già interessato anche le radici, l'I<sub>3M</sub> sarà ottenuto dal rapporto tra la somma degli apici aperti delle radici e l'altezza raggiunta dal dente, misurata lungo il suo asse (Fig. 8).



Figura 8 - Esempio di misurazione degli apici aperti del terzo molare e dell'altezza.



Da sottolineare che le misurazioni effettuate vengono prese in considerazione mettendole in rapporto tra loro, ottenendo in tal modo un valore di Indice in cui sono eliminate eventuali distorsioni. Qualora due terzi molari presentino uno sviluppo notevolmente diverso (il destro rispetto al sinistro), si deve prendere in considerazione quello con lo sviluppo minore, in ottemperanza al principio di legge della presunzione della minore età in caso di dubbio. Il metodo Cameriere del terzo molare prevede l'applicazione di un cut-off, un valore numerico che costituisce la soglia dell'età adulta: detto valore è stato fissato convenzionalmente a 0.08; ciò significa che i soggetti che presentano un indice del terzo molare minore di 0.08 sono considerati adulti ( $I_{3M} < 0.08 = \text{adulto}$ ). Successivi lavori hanno confermato la validità del valore 0.08 scelto come cut-off [49]. In un campione di soggetti brasiliani [50] è stato applicato tale metodica per verificare l'applicabilità del metodo e del cut-off di 0.08, con risultati che hanno mostrato una sensibilità del 77.4%, a specificità dell'86.2% ed una corretta classificazione dell'87.4%; questi valori si collocano in una posizione intermedia tra gli alti valori ottenuti da una precedente applicazione (De Luca *et al.* 2014), ma sono più alti -eccetto per la specificità- rispetto alla prima applicazione (Cameriere *et al.* 2008). Le differenze tra i risultati ottenuti nelle diverse applicazioni possono essere dovute al fatto che i due precedenti studi avevano analizzati campioni

caucasici; l'applicazione al campione brasiliano suggerisce una cauta applicazione su campioni provenienti da aree geografiche per le quali non si dispone di dati certi sulla provenienza e sulla razza.

Il concetto del cut off è molto importante dal punto di vista giuridico, permettendo di mantenere bassa la soglia dei minorenni erroneamente classificati come maggiorenni. Ai fini delle applicazioni in ambito forense i risultati hanno mostrato come il metodo dell'indice del terzo molare presenti una bassa percentuale di soggetti minorenni erroneamente classificati come adulti, pertanto risulta idoneo alle applicazioni in campo giuridico. La tecnica dell'  $I_{3M}$  è stata applicata in molte popolazioni (libica, australiana, croata, serba, turca, botswaniana.) nel corso degli anni, con risultati assai soddisfacenti che sono stati oggetto di pubblicazioni scientifiche internazionali.

#### **1.3.4 - IL METODO DEGLI APICI APERTI**

Trattasi di una tecnica di analisi delle ortopantomografie (OPT) dei bambini che prevede la misurazione degli apici aperti dei denti permanenti in formazione e il conteggio del numero dei denti permanenti che presentano apici chiusi (quindi già completamente formati) (Fig. 9).

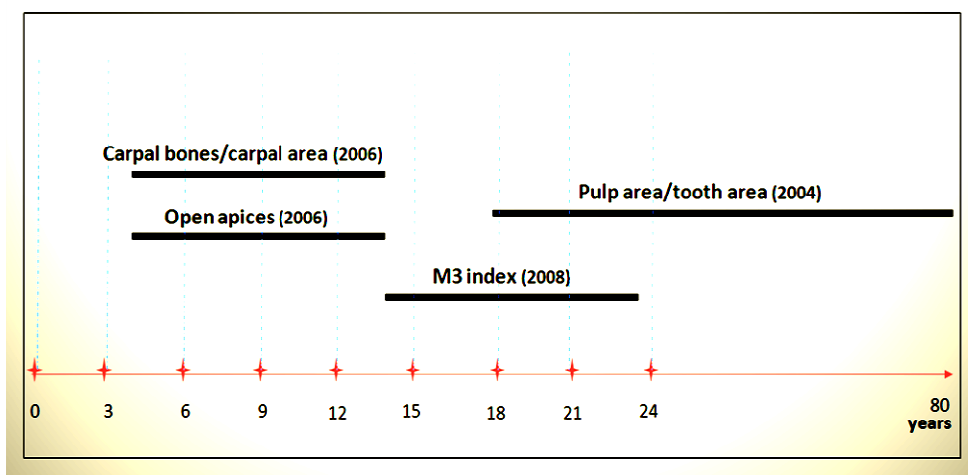
Figura 9 - Esempio di misurazione degli apici aperti dei denti; in blu sono segnalati i canali radicolari completamente chiusi.



L'applicazione interessa i soggetti indicativamente compresi nell'intervallo di età 4-14 anni. In un primo lavoro redatto da Cameriere et al. nel 2006 [51], risultava che le correlazioni tra età e apici aperti nei denti erano significative; inoltre il sesso e il numero

di denti con l'estremità apicale dei canali radicolari completamente chiusi (N (0)) hanno mostrato una correlazione significativa con l'età cronologica. Con l'ausilio di un modello di regressione multipla, è stata mostrata una relazione lineare tra apici aperti, N (0) ed età. La formula europea di Cameriere [52] per la stima dell'età dentaria è stata testata su diverse popolazioni extraeuropee, con necessità di variare i parametri del modello a seconda del campione di popolazione esaminato (es. peruviana, bosniaca, indiana, messicana).

Figura 10 - Intervallo d'età dei soggetti su cui trovano applicazione le principali tecniche di age estimation sinora trattate sviluppate da Cameriere e l'anno della prima pubblicazione.

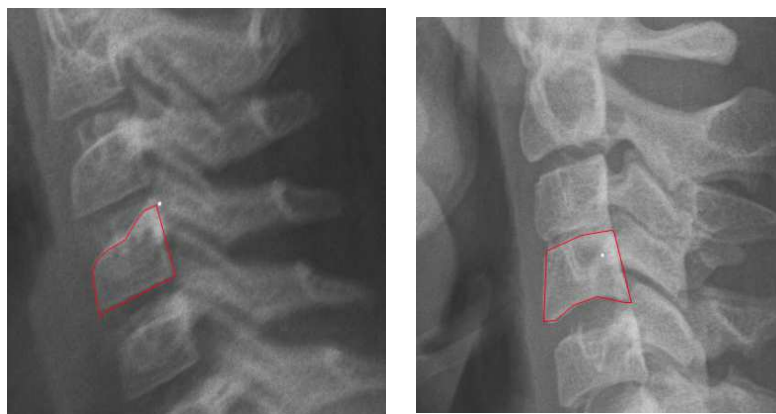


### 1.3.5 - FORMA DELLA IV VERTEBRA CERVICALE

Lo studio proposto nel 2015 da Cameriere [53] ha analizzato la crescita del corpo vertebrale di C4 per la stima dell'età nei bambini e nei giovani adolescenti. E' stato infatti osservato che la forma del corpo vertebrale, che in una fase tardiva dell'infanzia presenta una forma trapezoidale con maggiore sviluppo del corpo nella sua parte posteriore rispetto a quella anteriore, nei soggetti di circa 14 anni lo stesso corpo assume una forma più regolare con dimensioni più proporzionate tra la porzione anteriore e quella posteriore (Fig. 11). Nello specifico il suddetto lavoro ha analizzato 444 soggetti di nazionalità italiana (razza caucasica) equamente distribuiti in ordine al

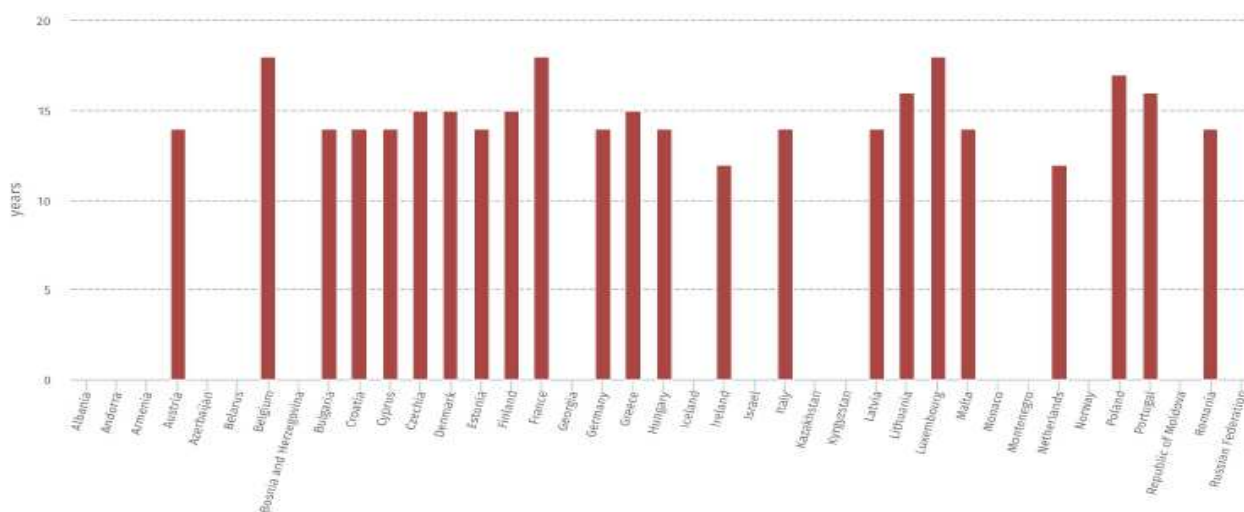
sesto, di età compresa tra 5 e 15 anni e senza nessun evidente sviluppo anomalo a carico del rachide cervicale.

Figura 11 - La forma della IV vertebra cervicale in un soggetto di 10 anni (a sinistra) e in un soggetto di 14 (a destra).



Il metodo è stato proposto come alternativa per l'accertamento dell'età di soggetti tra i 10 e i 14 anni; importante è il contributo scientifico che detto studio può apportare ai fini della Minimum Age for Criminal Responsibility, che in molti Stati varia dai 10 ai 14 anni (Grafico 1).

Grafico 1- Minimum Age of Criminal Responsibility in diversi Stati Europei



Lo studio ha messo tuttavia in risalto che il rapporto tra la dimensione anteriore del corpo vertebrale e quella posteriore non è caratterizzato da cambiamenti significativi dopo i 13 anni nelle femmine e dopo i 14 nei maschi.

### 1.3.6 - FUSIONE DELLE EPIFISI DEL GINOCCHIO

L'analisi rxgrafica delle epifisi dell'articolazione del ginocchio fornisce informazioni preziose, che possono essere utilizzate in combinazione con le tecniche consolidate al fine di massimizzare l'accuratezza nella valutazione dell'età di 18 anni. Nel lavoro proposto da Cameriere nel 2012 [54] sono stati analizzate 215 radiografie antero-posteriori del ginocchio in soggetti di età compresa tra i 14 ei 24 anni. Il metodo prevede la valutazione del grado di fusione delle epifisi con le diafisi di femore, tibia e perone relativamente all'area del ginocchio.

Nello stadio 1 le epifisi non sono fuse con le diafisi; nello stadio 2 è avvenuta la fusione, ma è ancora visibile la linea di saldatura; nello stadio 3 la fusione è completa e non è più evidente alcuna traccia della linea di fusione (Fig. 12).

Figura 12 - Epifisi femorale distale. a: Fase 1, l'epifisi non è fusa; b Stadio 2: l'epifisi è fusa e la cicatrice epifisaria è chiaramente visibile; c Fase 3, l'epifisi è completamente ossificata.



A ciascuno stadio è associato un punteggio: 0 per lo stadio 1, 1 per lo stadio 2 e 2 per lo stadio 3; sommando i punteggi relativi alle tre ossa si ottiene un punteggio finale che consente di conoscere l'intervallo d'età associato al soggetto in base al sesso. Sono stati eseguiti cinque test per discriminare tra individui che avevano o non avevano un'età di 18 anni o più. Per i ragazzi, lo score più alto di accuratezza è stato ottenuto con punteggio 3, con elevate sensibilità (Se = 93,33%) e specificità (Sp = 89,29%); per le

ragazze è stato ottenuto con un punteggio 4, con elevata accuratezza (Acc = 85,86%). I suddetti risultati depongono per una validità del metodo, come alternativa o supporto ad altre metodiche per la stima dell'età in relazione al cut-off di anni 18.

## CAPITOLO 2 - QUESTIONI GIURIDICHE, ETICHE E MEDICO-LEGALI IN TEMA DI ACCERTAMENTO DI ETÀ NEL MINORE

### 2.1-TUTELE PER I MINORI STRANIERI NON ACCOMPAGNATI

Chi è il minore straniero non accompagnato? L'art. 2 della Legge 47/2017 [55] ne dà una chiara definizione: *“per minore straniero non accompagnato presente nel territorio dello Stato si intende il minore non avente cittadinanza italiana o dell’Unione europea che si trova per qualsiasi causa nel territorio dello Stato o che è altrimenti sottoposto alla giurisdizione italiana, privo di assistenza e di rappresentanza da parte dei genitori o di altri adulti per lui legalmente responsabili in base alle leggi vigenti nell’ordinamento italiano”*. Il fenomeno dei minori stranieri non accompagnati (MSNA) è un tema assai delicato, sia in riferimento all’aspetto prettamente umano, sia per le difficoltà di arrivare ad una risoluzione del problema sotto il profilo legislativo.

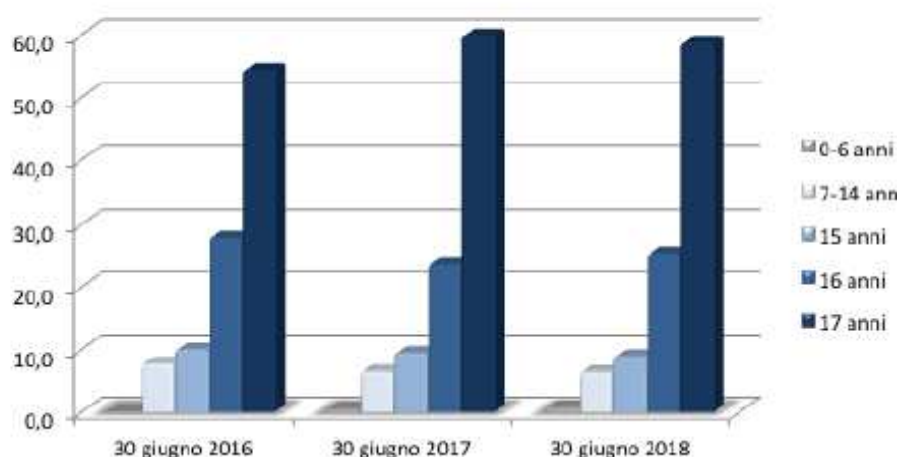
Riportando alcuni dati aggiornati in materia estrapolati dal report di monitoraggio della Direzione Generale dell’immigrazione e delle politiche di integrazione – Div. II del Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali [56], si segnala che al 30 giugno 2018 risultano presenti in Italia 13.151 minori stranieri non accompagnati. Si registra un decremento del 26,4% rispetto allo stesso periodo di rilevazione dell’anno precedente e un incremento del 7,4% rispetto alle presenze del 2016 (Tabella 4).

Tabella 4 – Valori assoluti e variazioni percentuali dei MSNA presenti. Dati al 30.06.2018

Periodo rilevazione	30/06/2018	-26,4% Incremento delle presenze rispetto al 30/06/2017
N°MSNA presenti	13.151	
Periodo rilevazione	30/06/2017	+7,4% Incremento delle presenze rispetto al 30/06/2016
N°MSNA presenti	17.864	
Periodo rilevazione	30/06/2016	
N°MSNA presenti	12.241	

Rispetto all'età, il 58,7% dei MSNA ha 17 anni, i sedicenni costituiscono poco più di un quarto del totale, l'8,9% dei minori ha 15 anni e il 7,2% ha meno di 15 anni. La quota dei diciassetenni è in leggera diminuzione rispetto allo stesso periodo di rilevazione del 2017, a fronte del lieve aumento della quota di minori con meno di 16 anni (Grafico 2).

Grafico 2 – Distribuzione dei MSNA presenti al 30.06.2018 secondo l'età. Confronto con la situazione al 30.06.2016 e al 30.06.2017.



I minori stranieri non accompagnati che risultano irreperibili<sup>1</sup> al 30/06/2018 sono complessivamente 4.677. Fra questi, le cittadinanze più numerose sono rappresentate dall'Eritrea (14,6%), dalla Somalia (11,9%) e dall'Afghanistan (10%). A partire dall'anno 2017, anno di istituzione del Sistema Informativo Minori (SIM), è possibile fornire anche il dato relativo agli allontanamenti nel corso dell'anno che, per i primi 6 mesi del 2018, è pari a 1.179 MSNA, dei quali il 24,9% è di cittadinanza tunisina, il 22,1% di cittadinanza eritrea e il 6,2% di cittadinanza afgana.

Al 30 giugno 2018, i principali Paesi di provenienza dei MSNA sono l'Albania (1.517), il Gambia (1.353), l'Egitto (1.225), la Guinea (1.153), la Costa d'Avorio (1.081) e l'Eritrea (953). Considerate congiuntamente, queste sei cittadinanze rappresentano più della

<sup>1</sup> Per irreperibili si intendono i minori stranieri non accompagnati per i quali è stato segnalato dalle autorità competenti a questa Direzione Generale un allontanamento. L'allontanamento viene censito nel SIM fino al compimento della maggiore età o a un nuovo eventuale rintraccio del minore. Il numero complessivo dei MSNA irreperibili sopra citato rappresenta lo stock degli allontanamenti registrati negli anni e relativi a soggetti ancora minorenni.



metà dei MSNA presenti in Italia (55,3%). Le altre cittadinanze maggiormente rappresentate sono quella nigeriana, (879), quella maliana (748), senegalese (624), somala (542) e tunisina (441). Quanto al confronto con la distribuzione di queste cittadinanze nello stesso periodo di rilevazione dei due anni precedenti, e in particolare del 2016, si osserva un incremento notevole di minori provenienti dalla Guinea, dalla Costa d'Avorio, e dalla Tunisia. Incrementi più contenuti riguardano i MSNA provenienti da Mali, Albania ed Eritrea, mentre per le restanti cittadinanze si nota un decremento nel periodo considerato. In particolare, si registra un decremento molto consistente di minori provenienti dall'Egitto: in valore assoluto, gli egiziani presenti nel mese di giugno 2018 sono la metà dei presenti nello stesso periodo del 2016.

Il continuo interesse del Legislatore unitario e la sua sollecitudine agli Stati ha contribuito all'adozione di provvedimenti mirati ed in particolare, all'approvazione della già citata Legge 47/2017, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 93 del 21.04.2017 ed entrata in vigore il 06.05.2017, fortemente voluta dall'associazione umanitaria *Save The Children*, particolarmente dedicata al sostegno e al soccorso dei bambini in difficoltà. Il provvedimento ha introdotto importanti innovazioni e ha proceduto ad una sistemazione organica della materia.

In precedenza, la definizione che l'ordinamento interno aveva formulato era contenuta nel D.P.C.M. 535/99 che, all'articolo 1, qualificava come minore migrante straniero quello non avente cittadinanza italiana o di altri Stati dell'Unione Europea, privo di assistenza o rappresentanza da parte dei genitori o di altri adulti per lui legalmente responsabili in base alle leggi vigenti nell'ordinamento. La definizione ricomprendeva, nella categoria dei minori migranti non accompagnati anche i minori che, pur non completamente soli, risultavano affidati ad adulti non tutori né affidatari in base a provvedimenti formali. Si tratta di minori spesso in sosta in una zona di *invisibilità*, dei quali è per lo più diffusa e stigmatizzata la condizione di mancanza di documenti. Dal punto di vista sostanziale e concreto, sono minori ai quali, nonostante siano entrati irregolarmente nel territorio nazionale dello Stato, viene riconosciuta la titolarità

di tutti i diritti sanciti dalla Convenzione di New York sui diritti del fanciullo del 1989, che l'Italia ha ratificato e reso esecutiva con la legge n. 176/91. In base a tali fonti normative, si prevede che, in tutte le decisioni riguardanti i minori, deve essere tenuto in conto come considerazione preminente il superiore interesse del minore. La legge, ispirandosi ai principi di protezione e alla salvaguardia dei minori, prescrive, all'articolo 3, il divieto di respingimento, previsto ex articolo 19, comma 1 del testo unico sull'immigrazione n. 286/98. Con un forte inciso, il comma 1 dell'articolo 3, alla lettera a) inserisce il comma 1-bis nel corpus del testo unico e prescrive che in nessun caso può disporsi il respingimento alla frontiera di minori stranieri non accompagnati. Si prevede, cioè, espressamente, un divieto assoluto di respingimento alla frontiera dei minori stranieri non accompagnati; l'unico contro limite, inserito come clausola di salvaguardia, è rappresentato dai motivi di ordine pubblico e sicurezza dello Stato con cui è possibile superare il divieto, e sempre che ciò non comporti "un rischio di danni gravi per il minore". In ogni caso, tale decisione sarà presa dal tribunale per i minorenni, entro e non oltre i 30 giorni. I limiti e le condizioni al respingimento e all'espulsione richiamano la necessaria operazione della identificazione del minore in quanto tale e quindi delle modalità e delle procedure funzionali all'accertamento dell'età anagrafica dello stesso. La stessa Commissione aveva rilevato la mancanza di standard comuni di intervento e la variabilità dei metodi e delle procedure da uno Stato membro all'altro. La legge 47/2017 ha predisposto un piano di azione uniforme, che deve essere coordinato da mediatori culturali e da tutori, i quali, ex articolo 5, perseguono l'assistenza prioritaria e umana per i minori. L'articolo 4 si occupa del tema dell'accoglienza - in particolare, delle strutture di prima assistenza ed accoglienza per i minori non accompagnati - disponendo puntuali modifiche all'articolo 19 del Dlgs 142/2015. Dal loro arrivo in uno dei Paesi europei, i minori migranti devono essere sottoposti a precise operazioni di identificazione e devono essere registrati come "minori": a tali procedure amministrativo-burocratiche deve presiedere una persona della protezione dei minori. Si deve procedere al rilevamento delle impronte digitali e dei dati biometrici con metodi che siano adatti e

rispettosi della specificità del genere e della sensibilità dei bambini. Le condizioni di accoglienza dei minori migranti prevedono che sia predisposto per loro un alloggio sicuro ed adeguato, che siano assicurati i servizi necessari di supporto, per garantire, al meglio, l'interesse superiore del minore ed il suo benessere. Deve, inoltre, essere predisposto ed assicurato l'accesso all'istruzione, sia formale che non formale, come diritto umano riconosciuto ad ogni bambino dalla Convenzione delle Nazioni Unite sui diritti del fanciullo, alle cure mediche, al supporto psico-sociale necessario, essendo i migranti bambini soggetti fortemente traumatizzati e spesso abusati, alle attività integrative e ricreative. Per evitare che l'impatto, nelle forme della permanenza col Paese raggiunto, sia legato a ripercussioni negative, si deve ricorrere al trattenimento amministrativo solamente in circostanze eccezionali, in extrema ratio e per il tempo più breve possibile e mai in istituti penitenziari. Le forme più adatte di accoglienza dei minori migranti sono il collocamento presso familiari adulti o in famiglie affidatarie (articolo 7); il collocamento presso centri di accoglienza (articolo 7) dotati di strutture specifiche per i minori, aperti e controllati; il collocamento presso alloggi indipendenti per i minori più grandi (ex lege 180 del 29.06.2013). L'articolo 12 della legge disciplina il sistema di protezione per i minori. In particolare, si prescrive che i minori non accompagnati siano accolti nell'ambito del Sistema di protezione per richiedenti asilo, rifugiati e minori stranieri, come stabilito dall'articolo 1 sexies del d.l. 416/1989, a tutela dei soggetti particolarmente vulnerabili. Nella scelta del posto di accoglienza, dove il minore deve essere collocato, si deve tener conto delle specifiche esigenze e delle caratteristiche del minore, quali risultino dal colloquio di cui all'articolo 19 bis, comma 1 del d.l. 142/2015, in relazione alla tipologia dei servizi offerti dalla struttura di accoglienza. Le strutture che accolgono i minori devono rispettare, ai sensi all'articolo 117 della Carta Fondamentale, gli standard minimi dei servizi e dell'assistenza forniti dalle strutture residenziali per minorenni e devono essere autorizzate ed accreditate ai sensi della normativa nazionale e regionale in materia. L'articolo 14 prescrive altresì che i minori non accompagnati siano iscritti al Servizio sanitario nazionale e che siano inseriti

presso le istituzioni scolastiche. L'articolo 15 prevede, poi, il diritto all'ascolto dei minori non accompagnati in tutti i procedimenti che li riguardano, da parte di persone idonee ed indicate dal minore stesso. È, inoltre, previsto il diritto all'assistenza legale, quale risulta dall'articolo 16 ed, infine, particolare attenzione e particolare tutela devono essere garantite nei confronti dei minori stranieri non accompagnati vittime di tratta, attraverso la predisposizione di un programma specifico di assistenza che assicuri adeguate condizioni di accoglienza e di assistenza psico-sociale, sanitaria e legale: i piccoli vittime di tratta devono, inoltre, essere seguiti ed accuratamente assistiti in un percorso che li sostenga per ottenere il risarcimento del danno. L'Italia, infine, ai sensi dell'articolo 20, promuove la più stretta cooperazione internazionale, in particolare attraverso lo strumento degli accordi bilaterali ed il finanziamento di programmi di cooperazione allo sviluppo nei Paesi di origine, per approdare ad una reale e concreta armonizzazione giuridica, nazionale ed internazionale, del sistema di protezione dei minori stranieri non accompagnati.

## **2.2 - MINORE E REATI: L'ISTITUTO DELLA MESSA ALLA PROVA**

La messa alla prova è un istituto avente duplice natura giuridica [57]: natura sostanziale, quale causa di estinzione del reato, e natura processuale, quale modalità di sospensione del procedimento penale. L'istituto trae origine dalla probation anglosassone: una sospensione della pronuncia della condanna a pena detentiva per un periodo di prova, durante il quale l'imputato, di cui è stata accertata la responsabilità penale ma a cui non è stata ancora inflitta una condanna, viene affidato ad un agente che supervisioni che il soggetto si attenga agli obblighi comportamentali fissati dall'autorità giudiziaria stessa. L'applicabilità della misura non è compromessa né dall'eventuale esistenza di precedenti penali, né dalla tipologia di reato, né da precedenti applicazioni; molto importanti sono, invece, le caratteristiche di personalità del ragazzo che inducono a

ritenere possibile il suo recupero; in una personalità in crescita, quale è quella del minore, il singolo atto trasgressivo non può, infatti, essere considerato indicativo di una scelta di vita deviante.

La prima applicazione storica della probation si ebbe nel XIX secolo, a Boston. Il sig. John Augustus, calzolaio, si offrì di pagare la cauzione per un soggetto alcolizzato ritenendo di poterlo recuperare [58]. Così accadde: il soggetto venne risocializzato e fu lasciato libero dal giudice, il quale decise di condannarlo solamente ad una pena simbolica di un centesimo. A tale esperimento, testato dal J. Augustus, seguirono, prima nella stessa Boston e poi in tutti gli Stati Uniti d'America, numerosi casi di "probation". Il sistema di probation si caratterizzava per i seguenti elementi: la sospensione condizionata della pronuncia di condanna a pena detentiva; l'imposizione di regole di condotta (la cui inosservanza poteva determinare la revoca della sospensione); l'affidamento del soggetto ad una persona che si assumeva il compito di guidarlo e di controllarlo durante il periodo di prova; la selezione dei soggetti in base alle caratteristiche personali, familiari e sociali del reo.

La probation, così strutturata, venne ufficialmente istituita per i maggiorenni negli Stati Uniti nel 1954; nel frattempo si sviluppò la juvenile probation tesa alla riabilitazione di minorenni autori di reati, ma con caratteristiche differenti.

L'istituto, per la sua capacità di fronteggiare l'inefficacia risocializzante delle pene detentive brevi, trovò applicazione anche in Europa, ma con differenti modalità di attuazione. La versione franco-belga della probation, infatti, prevedeva la sospensione dell'esecuzione della pena laddove, invece, la versione anglosassone prevedeva sospensione della pronuncia stessa della condanna. Le due versioni, strutturate diversamente, si caratterizzavano rispettivamente l'una per essere un modo alternativo di scontare la pena detentiva già esistente, l'altra per essere un modo, in caso di esito positivo della prova, per condizionare la conclusione del procedimento penale sospeso. Le due forme, l'una tesa al far astenere il reo da comportamenti delittuosi futuri e l'altra al far assumere al beneficiario della sospensione un impegno di

portata sociale, si son progressivamente mostrate complementari così da costituire una unica sospensione che può assumere due forme alternative: sospensione dell'esecuzione della pena e sospensione del procedimento per messa alla prova.

Così l'ordinamento italiano prevede sia la sospensione dell'esecuzione della pena in ipotesi particolari ed individuate dall'art. 656 c.p.p., sia la sospensione del procedimento con messa alla prova dell'imputato. Tale istituto ha differente fonte normativa, disciplina e finalità a seconda che si riferisca ad un imputato maggiorenne o minore. L'istituto della messa alla prova minorile è stato introdotto dagli artt. 28-29 del D.P.R. n. 448/1988 quale alternativa efficace al carcere, caratterizzata dall'obiettivo di rieducare il minore; in altri termini costituisce uno strumento di attuazione di alcuni obiettivi tipici del sistema di giustizia minorile, quali la rapida uscita dal circuito penale, la tempestività dell'intervento istituzionale, la diversione, la mediazione tra minore e vittima, l'esigenza di fornire al minore risposte individualizzanti.

Ai fini dell'ammissione al beneficio della sospensione condizionata, il giudice valuterà le caratteristiche peculiari della personalità del minore, in continua evoluzione, concedendo la messa alla prova in una fase preliminare alla pronuncia sul merito. L'ammissione è, infatti, "subordinata al vaglio discrezionale dei giudici di merito circa la possibilità di rieducazione e di inserimento del soggetto nella vita sociale ed è espressione di un giudizio prognostico - insindacabile in sede di legittimità se sorretto da adeguata motivazione - condotto sulla scorta di molteplici indicatori, inerenti sia il reato commesso sia la personalità del reo, da lui manifestati anche in epoca successiva al fatto incriminato" [59].

Assume, quindi, un ruolo centrale la valutazione del progetto predisposto dai servizi sociali competenti individuati. Il progetto non solo deve relazionare sulla situazione personale familiare e sociale del minore, ma deve anche rappresentare in maniera precisa e dettagliata le attività che l'imputato andrà a svolgere. La mancata elaborazione di tale progetto rende la richiesta di ammissione alla messa alla prova improcedibile. È

necessario ovviamente che l'imputato aderisca al progetto, dichiarare la propria volontarietà a sottoporsi alla prova e si assuma la responsabilità dell'impegno.

La sospensione non potrà essere superiore ai tre anni (termine massimo in caso di reati per i quali la pena prevista è l'ergastolo o la reclusione non inferiore nel massimo a 12 anni). Con la stessa ordinanza il giudice affida il minore ai servizi sociali per lo svolgimento delle opportune attività di osservazione, trattamento e sostegno. Durante il periodo di sospensione, il giudice, oltre alla valutazione delle relazioni periodiche dei servizi sociali, può ordinare delle udienze di verifica in cui ascoltare i servizi competenti e il minore al fine di seguire il percorso evolutivo dello stesso.

In caso di eventuali trasgressioni al programma o alle prescrizioni imposte, oppure di mancata esecuzione delle prestazioni, oppure di commissione di un nuovo delitto non colposo ovvero di un reato della stessa indole rispetto a quello per cui si sta procedendo, il giudice revoca mediante ordinanza la sospensione e riprende il procedimento regredendo al momento in cui era stato sospeso. Invero l'esito positivo della prova, relazionato anche dai servizi dell'amministrazione della giustizia competenti, e l'evoluzione della personalità del minore alla luce della risocializzazione sono elementi che inducono il giudice a dichiarare estinto il reato per esito positivo della messa alla prova.

L'istituto della messa alla prova, già previsto nel rito minorile dall'art. 28 d.P.R. n. 448/1988, è stato coniato per il rito ordinario degli adulti dalla l. n. 67/2014, che all'art. 3 ha introdotto nel codice penale gli artt. 168 bis e 168 quater e al successivo art. 4 ha inserito nel libro VI del codice di procedura penale il nuovo titolo V bis, comprendente gli articoli da 464 bis a 464 novies [60]. Da tale articolazione si evince la duplice valenza, sia sostanziale che processuale, della messa alla prova per gli adulti: estinzione del reato in caso di esito positivo della prova (art. 168ter, comma 2, c.p.) e forma di alternativa di definizione del processo.

Stante la rilevanza giuridica e sociale di questo istituto, l'allora Ufficio Centrale per la Giustizia Minorile, oggi Dipartimento per la Giustizia minorile e di comunità, avviò

nell'ottobre del 1991 un monitoraggio ad hoc sulla sua applicazione, attraverso schede nominative compilate per ciascun provvedimento emesso nei confronti dei minori in carico agli Uffici di Servizio Sociale per i Minorenni (USSM); la rilevazione cartacea è stata effettuata fino a tutto l'anno 2011. A partire dall'anno 2012 i dati sono acquisiti dal Sistema Informativo dei Servizi Minorili (SISM), che gestisce i dati di tutti i minori che costituiscono l'utenza dei Servizi minorili. I dati analizzati sono riferiti alla situazione dell'archivio alla data dell'elaborazione, effettuata a conclusione delle attività di convalida da parte dei Centri per la Giustizia Minorile. A partire dal 2016 i dati comprendono anche i provvedimenti di messa alla prova relativi ai minori non in carico agli USSM, ossia assegnati soltanto all'Ente Locale.

Di seguito si riportano alcuni dati (Grafico 3, 4, 5) estrapolati dal Servizio Statistica del Dipartimento per la Giustizia minorile e di comunità - Ufficio I del Capo Dipartimento (Roma, 7 maggio 2018) [61].

Grafico 3 – Provvedimenti di messa alla prova negli anni dal 1992 al 2017.

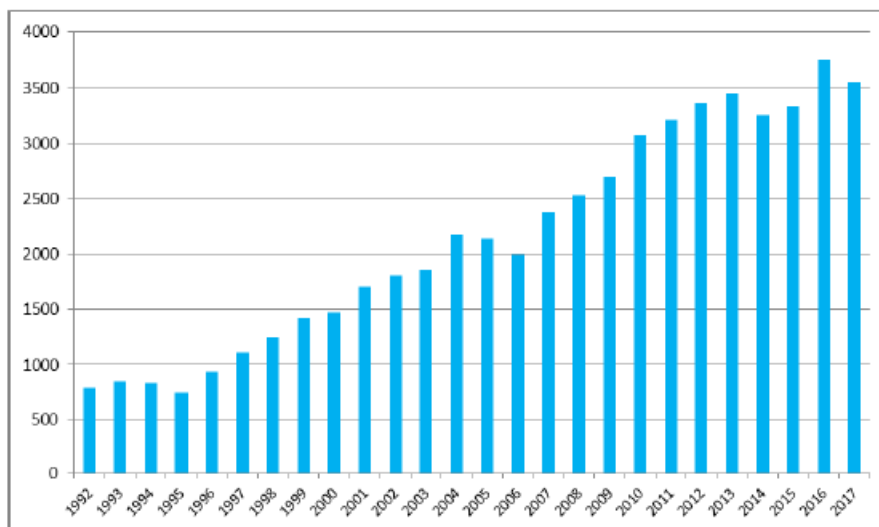




Grafico 4 – Provvedimenti di messa alla prova negli anni dal 2002 al 2017 secondo la nazionalità. Valori Assoluti.

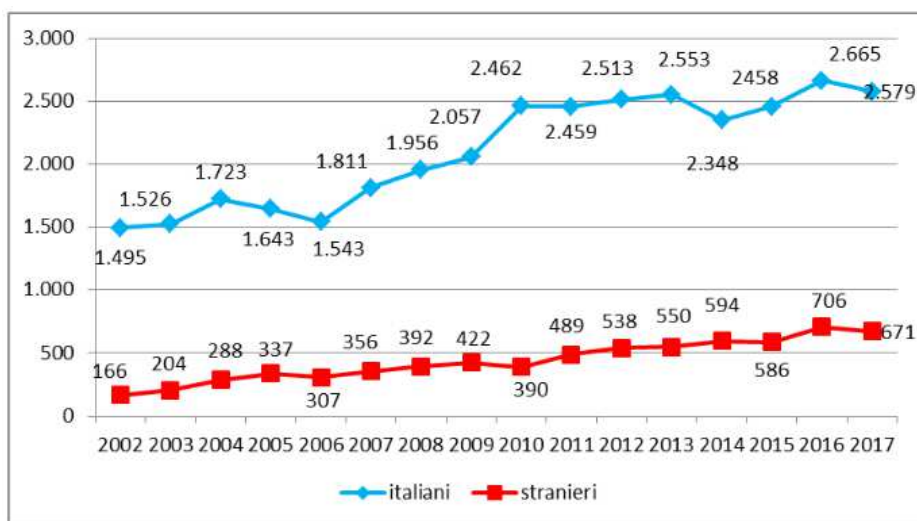
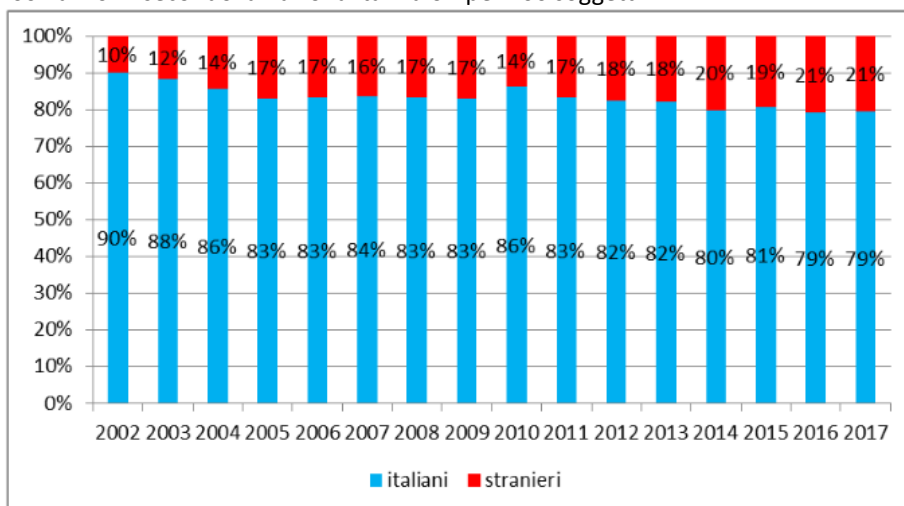
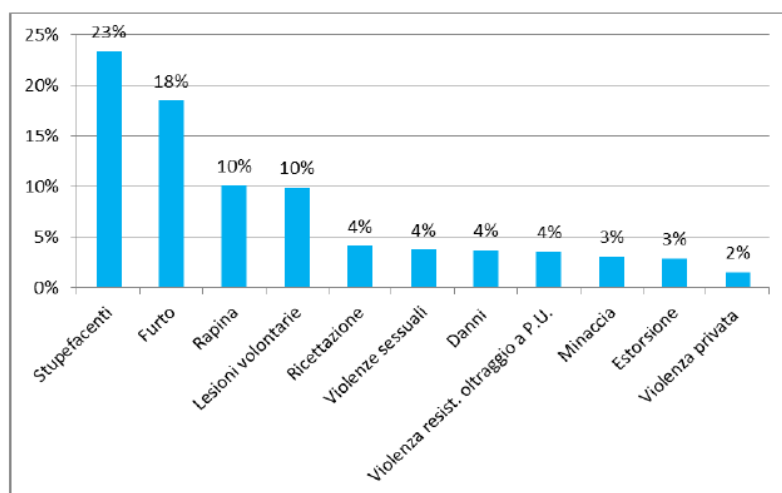


Grafico 5 - Minorenni e giovani adulti messi alla prova ai sensi dell'art. 28 D.P.R. 448/88 negli anni dal 2002 al 2017 secondo la nazionalità. Valori per 100 soggetti.



Le violazioni delle disposizioni in materia di stupefacenti rappresentano il primo tra i reati a carico dei minori per i quali l’Autorità Giudiziaria ha disposto la sospensione del processo e messa alla prova; seguono poi i reati contro il patrimonio come il furto, la rapina e la ricettazione ed i reati contro la persona come le lesioni personali volontarie, le violenze sessuali; frequenti sono anche i reati di violenza e resistenza e oltraggio a pubblico ufficiale (Grafico 6).

Grafico 6 - Reati a carico dei minori per i quali è stato emesso un provvedimento di messa alla prova nell'anno 2017. Valori per 100 reati.



Dei 3.558 provvedimenti dell'anno 2017, 3.250 hanno riguardato minorenni e giovani adulti. Si osserva la forte prevalenza della componente maschile, che nel 2017 ha costituito il 92% del totale (Tabella 5).

Tabella 5 - Minorenni e giovani adulti messi alla prova ai sensi dell'art. 28 D.P.R. 448/88 secondo l'età, il sesso e la nazionalità. Anno 2017.

Fascia di età	Italiani			Stranieri			Totale		
	m	f	mf	m	f	mf	m	f	mf
14 anni	10	5	15	7	2	9	17	7	24
15 anni	152	21	173	35	2	37	187	23	210
16 anni	405	40	445	91	8	99	496	48	544
17 anni	636	56	692	173	11	184	809	67	876
<b>giovani adulti</b>	1.161	93	1254	323	19	342	1.484	112	1.596
<b>Totale</b>	<b>2.364</b>	<b>215</b>	<b>2.579</b>	<b>629</b>	<b>42</b>	<b>671</b>	<b>2.993</b>	<b>257</b>	<b>3.250</b>

Con riferimento all'età, alla data di concessione della messa alla prova il 7% aveva un'età tra i quattordici e i quindici anni, il 44% apparteneva alla fascia tra i sedici e i diciassette anni, mentre il 49% rientrava già nella categoria dei giovani-adulti. Per quanto riguarda la nazionalità, gli stranieri hanno costituito il 21% del totale dei minori messi alla prova nel 2017. Le principali provenienze sono dall'Est Europeo (rumeni, albanesi e provenienze dall'area dell'ex Jugoslavia) e dal Nord Africa (Marocco, Egitto e Tunisia),

dall’Africa occidentale (Senegal e Gambia), a cui si aggiungono i minori del Sud America (prevalentemente dal Brasile e dall’Ecuador).

Come già precisato, i Servizi minorili informano periodicamente il Giudice sull’andamento della messa alla prova, proponendo, nei casi in cui lo ritengano necessario, modifiche al progetto; il giudice può disporre, quindi, modifiche al progetto e, se necessario, una sua proroga. Nei casi di ripetute e gravi trasgressioni alle prescrizioni imposte il giudice può decidere la revoca del provvedimento. Trascorso il periodo di prova, se la valutazione sul comportamento del ragazzo e sull’evoluzione della sua personalità è positiva, il giudice emette una sentenza di estinzione del reato per esito positivo della prova. In caso di esito negativo della prova, il processo prosegue come se non fosse mai stato sospeso. L’analisi dell’esito è importante sia per la verifica dell’andamento della prova sia sul piano del riscontro per chi ha lavorato al progetto. Per l’anno 2017, le messe alla prova definite al momento dell’analisi dei dati erano circa il 42% del totale dei provvedimenti disposti; di queste circa l’80% ha avuto esito positivo.

Si riporta al seguito un estratto dal report di ricerca “La recidiva nei percorsi penali dei minori autori di reato” [62]. La tabella 6 riporta i livelli medi di recidiva dei minorenni autori di reato per il gruppo di individui che hanno sperimentato la messa alla prova rispetto a quelli con iter processuale tradizionale; queste stime sono distinte per la lunghezza del periodo in cui è valutata la recidiva (cioè 60 e 72 mesi) e per uno specifico gruppo di controllo in cui sono stati eliminati autori di reato soggetti a misure cautelari. Quello che emerge chiaramente è un più alto tasso di recidiva stimata per i giovani che hanno sperimentato altre misure rispetto alla messa alla prova, indipendentemente dalla lunghezza della stessa.

Tabella 6- Tasso di recidiva dei minorenni autori di reato.

Minori nel campione osservato	Recidiva	
	60 mesi	72 mesi
Senza messa alla prova	29%	31%
Con messa alla prova	19%	20%

## **2.3 - NORME E GARANZIE IN MATERIA DI ACCERTAMENTO DELL'ETA'**

Le procedure riguardanti l'accertamento dell'età sono disciplinate dall'art. 4 d.lgs. n. 24/14 e dal relativo d.p.c.m. n. 234/16, dall'art. 19 d.lgs. 25/08 e dall'art. 8 d.p.r. n. 448/88. Tali norme, pur riguardando rispettivamente i minori vittime di traversate, richiedenti asilo o sottoposti a procedimento penale, dovrebbero essere applicate in via analogica a tutti i minori stranieri non accompagnati, come indicato dal Ministero dell'Interno nelle circolari del 25 luglio 2014 e del 9 luglio 2007 (si veda a tale proposito il comunicato "Norme chiare sull'accertamento dell'età dei minori stranieri non accompagnati").

Importanti indicazioni sono inoltre previste dal "Protocollo per l'identificazione e per l'accertamento olistico multidisciplinare dell'età dei minori non accompagnati" approvato dalla Conferenza delle Regioni nel 2016, dal parere del Consiglio Superiore della Sanità del 2009 e dalle raccomandazioni dell'UNHCR del 2014.

In particolare il d.p.c.m. n. 234/16 [63], che rappresenta attualmente la fonte normativa più completa in materia di accertamento dell'età, stabilisce che:

- solo ove sussistano fondati dubbi sull'età e questa non sia accertabile attraverso documenti identificativi (passaporto o altro documento di riconoscimento munito di fotografia), le Forze di Polizia possono richiedere al giudice competente per la tutela l'autorizzazione all'avvio della procedura multidisciplinare per l'accertamento dell'età;
- tale accertamento è condotto, nel rispetto del superiore interesse del minore, da un'équipe multidisciplinare presso una struttura sanitaria pubblica, individuata dal giudice, ed è svolto attraverso un colloquio sociale, una visita pediatrica auxologica e una valutazione psicologica o neuropsichiatrica, alla presenza di un mediatore culturale, tenendo conto delle specificità relative all'origine etnica e culturale dell'interessato;
- il minore deve essere adeguatamente informato, con l'ausilio di un mediatore culturale, sul tipo di esami cui sarà sottoposto, sulle loro finalità e sul diritto di opporvisi;

- la relazione conclusiva deve riportare l'indicazione di attribuzione dell'età stimata specificando il margine di errore insito nella variabilità biologica e nelle metodiche utilizzate ed i conseguenti valori minimo e massimo dell'età attribuibile;
- nei casi in cui, considerando il margine di errore, la maggiore o minore età resti in dubbio, la minore età è presunta;
- il provvedimento di attribuzione dell'età, adottato dal giudice competente per la tutela, è notificato, con allegata traduzione, all'interessato e al tutore, e può essere oggetto di reclamo;
- in attesa della determinazione dell'età, l'interessato deve comunque essere considerato come minorenne al fine dell'accesso immediato all'assistenza e alla protezione.

In sintesi in base alla normativa attuale, non può essere considerata valida sotto il profilo probatorio una procedura di accertamento dell'età in cui:

- a) le risultanze degli accertamenti sanitari prevalgano rispetto ai dati anagrafici certificati dal passaporto o da altro documento di identità, in corso di validità o meno, ovvero da altro documento di riconoscimento munito di fotografia (fatta ovviamente eccezione dei casi in cui sussistano ragionevoli dubbi sull'autenticità del documento);
- b) la maggiore età del soggetto venga attribuita sulla base delle risultanze di un unico accertamento diagnostico (es. la radiografia polso-mano), escludendo approccio procedurale multidisciplinare comprensivo di un colloquio sociale, di una visita pediatrica auxologia con anamnesi e di una valutazione psicologica o neuropsichiatrica, alla presenza di un mediatore culturale laddove richiesto;
- c) non venga specificato e circostanziato il margine di errore legato alle metodiche utilizzate, con i relativi valori minimo e massimo (deviazioni standard): la mancata indicazione dell'errore impedirebbe sostanzialmente l'applicazione del principio della presunzione di minore età in caso di dubbio.

Invero, ai fini della valutazione della maturazione ossea del distretto polso-mano, il Consiglio Superiore della Sanità nel Parere del 2009 raccomanda l'utilizzo del metodo

Tanner-Whitehouse 3 (TW3), in quanto dalla letteratura scientifica risulta il metodo che presenta la minore variabilità e dunque più affidabile dell'assai più datato metodo Greulich-Pyle.

Il provvedimento da parte di un Giudice tutelare o del Tribunale per i minorenni può essere oggetto di reclamo secondo la disciplina applicabile agli atti del giudice emittente. Qualora non fosse stato adottato uno specifico provvedimento di attribuzione dell'età, si potrà contestare l'errata identificazione come maggiorenne nell'ambito di altro procedimento. Di fatto, anche al di fuori dei procedimenti giudiziari, nel cui ambito può essere effettuata una consulenza tecnica (d'ufficio o di parte), è sempre diritto dell'interessato richiedere a un consulente di effettuare una valutazione ai fini della determinazione della propria età e presentare i risultati di tale accertamento all'autorità giudiziaria, all'autorità di pubblica sicurezza o all'ente locale affinché possano tenerne conto nell'adozione dei provvedimenti di competenza.

Se è già stato effettuato un esame radiografico del distretto polso-mano, l'interessato, il tutore o il difensore può chiedere copia della immagine rx (salvata su lucido o in formato digitale su CD), al fine di farla nuovamente refertare senza che l'interessato fosse ulteriormente sottoposto e quindi esposto a radiazioni.

In ambito internazionale non vi è certo una uniformità di approccio per la stima dell'età (Tabella 7) [64]. Per ciascun caso si delineano le norme giuridiche pertinenti conformemente alla convenzione delle Nazioni Unite sui diritti del fanciullo (UN Convention on the Rights of the Child — UNCRC) e alle direttive dell'UE. Le disposizioni, che rappresentano un riferimento importante per offrire le garanzie necessarie qualora venga scelta l'applicazione di un metodo particolare, sono state raggruppate secondo temi chiave comuni. A ciascun metodo è stato applicato l'approccio basato sull'analisi SWOT (strengths-weaknesses-opportunities-threats: punti di forza, punti di debolezza, opportunità, rischi), interpretata nel quadro delle norme giuridiche pertinenti. Lo scopo di questo approccio consiste nel fornire una panoramica equilibrata dei metodi nonché

nel rilevare questioni chiave di cui tener conto nel decidere i metodi e gli strumenti da adottare.

Tabella 7 - Panoramica dei metodi medici di accertamento dell'età in uso per Paese (European Asylum Support Office, dicembre 2013).

Paese	Carpo (mano/polso) Raggi X	Clavicola Raggi X	Denti Raggi X	Osservazione dentale	Colloqui/test psicologici	Valutazione dello sviluppo fisico da parte di un pediatra	Osservazione della maturità sessuale	Altro
Australia								
Austria	√	√	√	√			√	
Belgio			√	√	√			
Bulgaria	√				√		√	
Canada								
Croazia								√ <sup>(101)</sup>
Cipro								
Repubblica ceca	√							
Danimarca	√	√	√	√		√	√	
Estonia	√	√	√		√	√	√	
Finlandia	√		√	√				
Francia	√	√	√		√			
Germania	√	√	√	√			√	
Grecia	√		√		√	√	√	
Ungheria	√		√	√			√	
Irlanda								
Italia	√	√	√	√				
Lettonia	√	√	√	√		√		
Lituania	√	√				√		√ <sup>(102)</sup>
Lussemburgo	√	√						
Malta	√							
Paesi Bassi	√	√						
Nuova Zelanda	√		√	√	√	√	√	
Norvegia	√		√	√				
Polonia	√	√	√	√				√ <sup>(103)</sup>
Portogallo	√	√	√	√				
Romania	√	√	√	√			√	
Slovacchia	√	√				√		
Slovenia								
Spagna	√							
Svezia	√		√					
Svizzera	√							
Regno Unito								
Stati Uniti								√ <sup>(104)</sup>

(101) Ha utilizzato metodi medici in due (2) casi.

(102) Raggi X colonna cervicale e spalla destra.

(103) Test del DNA su domanda del richiedente.

(104) Generalmente non viene condotta una valutazione scientifica per stabilire l'età del richiedente.

A fronte della presenza in Italia di minori non accompagnati in maggioranza di età compresa tra i 16 e i 17 anni, l'accertamento dell'età, ai fini di una corretta identificazione, è di fondamentale importanza per garantire loro l'effettivo esercizio dei diritti di cui sono titolari ed evitare l'adozione di provvedimenti che possono essere gravemente lesivi di tali diritti. Allo stesso modo, un accurato accertamento dell'età potrebbe ridurre le possibilità che adulti vengano erroneamente identificati come

minorenni e alloggiati in strutture per minori, mettendo a rischio questi ultimi e abusando del sistema di protezione a loro riservato.

## **2.4 - ASPETTI ETICI NELLA VALUTAZIONE DELL'ETA' NEL MINORE**

L'accertamento dell'età in soggetti minori, assai complesso sotto il profilo tecnico-metodologico, evoca delle problematiche di carattere etico, laddove sia prevista da molti protocolli operativi in materia l'utilizzazione di radiazioni ionizzanti. Dalle organizzazioni internazionali per la tutela dei minori è stato in più circostanze rimarcato che non può considerarsi eticamente corretto sottoporre un soggetto in crescita ad analisi tramite raggi x in assenza di motivazioni cliniche alla base dell'accertamento. L'impiego di raggi x per scopi amministrativi non può essere considerato un atto medico e risulterebbe in tal senso un atto non lecito.

Giova tuttavia ricordare che la definizione di salute data dall'Organizzazione Mondiale per la Sanità è tuttavia più ampia rispetto alla semplice assenza di malattia. "Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity<sup>2</sup>."

Si potrebbe quindi analizzare la stima dell'età in questa prospettiva: verificare l'età del soggetto per un suo corretto inserimento nella società tanto quanto nella scuola o per verificare il diritto alla richiesta d'asilo, che comporterebbe tutta una serie di tutele, con un imput propositivo sul suo stato psico-fisico e di concerto sulla propria salute. Tuttavia sulla base della documentazione scientifica prodotta sembra evidente che l'utilizzo di indagini radiografiche nella stima dell'età per scopi amministrativi è contrario ai principi etici nonchè potenzialmente illegale.

---

<sup>2</sup> World Health Organization (1946) Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 giugno 1946; firmato il 22/07/ 1946 dai rappresentanti di 61 Stati ed entrato in vigore il 7/04/ 1948.



Il “Protocollo Ascone” (sviluppato da un apposito Gruppo Tecnico interistituzionale e multidisciplinare istituito presso il Ministero della Salute e composto da rappresentanti dei Ministeri della Salute, degli Interni e della Giustizia e poi sottoposto alla valutazione ed al parere del Consiglio Superiore di Sanità nel 25.2.2009) non nega in radice rilevanza all’esame radiologico polso/mano ai fini dell’accertamento dell’età anagrafica, ma lo inserisce nell’ambito di una valutazione integrata, da affidare preferibilmente ad un pediatra, dei dati risultanti altresì dall’esame fisico del soggetto interessato, eseguito mediante misurazioni antropometriche, ispezione dei segni di maturazione sessuale, identificazione degli eventuali disturbi dello sviluppo e definizione dello stadio di dentizione. Ulteriore indicazione contenuta nel Protocollo, particolarmente significativa a fronte di una prassi diffusa di segno radicalmente opposto, è costituita dalla trasmissione dei risultati dell’accertamento dell’età eventualmente effettuato alla medesima banca dati in cui confluiscono gli estremi identificativi di un soggetto, onde evitare di dover ripetere ad ogni fermo la stessa procedura, con costi inutili per la collettività e l’esposizione ingiustificata della persona a radiazioni ravvicinate.

Risulta evidente che l’adozione a livello nazionale di un simile protocollo risolverebbe numerosi problemi e costituirebbe certamente un buon punto di partenza nell’ottica di una maggiore tutela degli adolescenti stranieri coinvolti; eppure, ad oggi, ciò non si è ancora verificato.

Tuttavia, in assenza di linee-guida precise, valide e ubiquitariamente riconosciute, ogni struttura ospedaliera (ed, all’interno di questa, ogni medico) continuerà ad operare a propria discrezione, effettuando esami radiologici seguendo il metodo ritenuto preferibile e con una refertazione che potrà seguire o meno i canoni menzionati: starà quindi anche all’autorità giudiziaria competente, sulla base delle fonti comunque disponibili in materia, valutare l’attendibilità dell’approccio sanitario eseguito.

A tale proposito, pare doveroso richiamare le prassi assunte negli altri Paesi dell’Unione Europea, talvolta decisamente più rigide rispetto all’utilizzo dei test di maturazione

ossea ai fini dell'individuazione dell'età anagrafica, sia pur nell'ambito di un approccio multidisciplinare.

Nell'autorevole studio *“Medical, statistical, ethical and human rights considerations in the assessment of age in children and young people subject to immigration control”* [65], non sono infatti previsti esami radiologici nella procedura volta all'accertamento dell'età, perché considerati, a tale scopo, imprecisi e contrari all'etica medica; verrebbe di fatto violato il fondamentale ed universale principio *“ALARA”* (*As Low As Reasonably Achievable*), secondo il quale, prima di sottoporre una persona a radiazioni di qualunque tipo, ciascun medico dovrebbe considerare se i vantaggi ottenibili siano effettivamente più rilevanti rispetto ai pericoli ricollegabili a quel tipo di esame. Di qui, il carattere *“non etico”* e *“potenzialmente illegale”* di una procedura che comporterebbe l'inutile esposizione del soggetto a rischi non controbilanciati da alcuna effettiva utilità.

Anche secondo il *Separated Children in Europe Programme (SCEP)* [66], l'impiego di esami medici per l'accertamento dell'età dovrebbe costituire un'eccezione ed andrebbe fortemente limitato, considerato che tutti quelli utilizzati attualmente in ambito europeo non sono in grado di fornire risultati certi e possono invece rivelarsi eccessivamente invasivi (si pensi all'esame della maturazione sessuale) o pericolosi per la salute di chi vi si sottopone (test radiologici).

D'altro canto, una simile presa di posizione risulta conforme agli standard internazionali adottati in tema di accertamento dell'età, volti a considerare in primo luogo l'interesse del presunto minore coinvolto: l'approccio multidisciplinare risulta menzionato nel *General Comment* n. 6 del 2005 alla Convenzione delle Nazioni Unite sui diritti del fanciullo del 1989 [67], concernente il trattamento dei minori non accompagnati al di fuori del Paese d'origine, in cui si dice espressamente che va evitato ogni rischio di nuocere all'integrità fisica del minore.

Anche l'Alto Commissariato delle Nazioni Unite per i Rifugiati si è espresso in merito attraverso l'adozione di specifiche linee-guida, raccomandando, da un lato, l'impiego di un approccio multidisciplinare in cui i metodi clinici vengano applicati con accuratezza e

senza nuocere al minore, dall'altro, la presa d'atto da parte delle autorità dei *margini di errore insiti nelle valutazioni mediche*.

Sotto il profilo medico, le radiografie del distretto polso-mano e le OPT sono caratterizzate da una bassa dose di radiazioni rispetto a quella richiesta per l'analisi di altre parti del corpo, soprattutto le OPT sono ritenute uno strumento ad alto potere diagnostico e basso impatto di radiazioni [68]. Al momento non si dispone di metodi scientifici alternativi in grado di fornire, da soli, lo stesso tipo di informazione. Nonostante il dibattito sull'uso dei raggi x resti una questione aperta, una recente revisione dei metodi in uso nei principali Paesi europei a fini della stima dell'età mostra come molte tecniche radiografiche siano in uso [69] poiché al momento resta l'opzione maggiormente accreditata.

In tale contesto, fermo restando che la radiografia non può comunque indicare con precisione l'età cronologica di un individuo, che l'interpretazione dell'immagine rx richiede la presenza di personale specializzato e che la valutazione finale necessita il supporto di un approccio multidisciplinare, solamente in epoca recente la medicina forense si è attivata per studiare e mettere in atto metodiche di diagnostica per immagine alternative all'rx, che possano fornire dati e risultati validi e altrettanto impiegabili in ambito forense. La ricerca è aperta!

## **2.5 - L'IMPRONTA MEDICO-LEGALE**

Nell'esercizio della propria attività il medico-legale è chiamato ad adottare un rigorismo obiettivo che gli consente di ottenere un dato di rilevanza scientifica, per poi metterlo a disposizione dell'autorità giudiziaria. Ne deriva che la valutazione dei dati e la formulazione dei giudizi definitivi dovranno fondarsi su motivazioni logiche e attendibili, che tengano conto di reperti, segni e dati obiettivi riscontrati, della documentazione medica a disposizione e delle più accreditate conoscenze scientifiche, concernenti il caso

trattato. D'altro canto è noto che il mondo del diritto per diverse circostanze ha l'esigenza di attingere dalla scienza medico legale nella delicata fase dell'indagine, quando diventa fondamentale la raccolta di elementi di prova e la formazione della stessa attraverso l'utilizzo del fatto scientifico. Ovviamente risulta altrettanto fondamentale conoscere l'ambito per cui il medico legale, nel fornire il dato scientifico, è chiamato a rispondere ad esigenze di carattere giudiziario (penalistiche, civilistiche, amministrative). A tal proposito giova rilevare come un determinato accertamento tecnico medico-legale, basato sugli stessi dati oggettivi, può esigere risposte e conclusioni diversamente articolate a seconda che si verta, ad esempio, in ambito civile o penale.

Orbene in tema di stima dell'età, nell'utilizzazione delle diverse metodiche e nel fornire il dato scientifico per diversi scopi forensi, il medico-legale deve tener conto di alcuni fattori di variabilità, che talvolta non consentono ahimè di arrivare ad un risultato di assoluta certezza; il mettere in luce fattori che determinano una possibile variabilità di risultato rientra nel rigorismo metodologico-applicativo insito nell'attività del medico-legale. Al seguito vengono sinteticamente argomentati fattori rilevanti di variabilità nella stima dell'età.

*L'elemento etnico o razziale* costituisce un'importante fonte di differenziazione o di taratura dei risultati forniti dai diversi metodi. L'importanza di tale elemento di variabilità è evidenziata dalla nascita di specifiche sezioni dedicate all'antropologia di popolazione nell'ambito delle più importanti riviste scientifiche internazionali, con lo scopo di raccogliere indicazioni sul funzionamento dei diversi metodi di stima dell'età nei diversi gruppi razziali/etnici. Ogni metodo richiede, oltre ad una precisa standardizzazione, la verifica su altri gruppi di popolazione, allo scopo di verificare la presenza di possibili variazioni dei risultati ottenuti e fornire così un fattore di correzione. Il fattore etnico è tutt'altro che secondario: diversi studi hanno evidenziato che l'età stimata e l'età reale per certi metodi divergono in maniera talmente importante da sconsigliarne l'applicazione in specifici gruppi geografici, mentre per altri

vengono suggeriti adeguati fattori di correzione, o addirittura rivisitazioni del metodo originale, "plasmato" sulla popolazione analizzata. Nella pratica forense ogni processo di stima dell'età deve pertanto necessariamente basarsi su un confronto popolazionistico con la letteratura esistente.

Di non trascurabile importanza risulta il *rischio biologico* legato all'utilizzo di metodiche strumentali. Infatti se in ambito clinico la scelta di eseguire un esame di diagnostica per immagine dipende dal bilancio rischi-benefici tra l'eventualità di non effettuare tale esame e i vantaggi che ne possono derivare, in ambito medico-legale non esiste alcun beneficio sulla salute del soggetto; ne deriva che potranno essere effettuate e autorizzate solo le procedure che consentono di ridurre al minimo i rischi biologici per il soggetto. Le metodiche ad oggi standardizzate per la stima dell'età prevedono l'utilizzo di radiazioni; pur essendo la radiografia di mano-polso e l'ortopantomografia metodiche che comportano un rischio sostanzialmente accettabile dalla comunità scientifica internazionale [70], non sempre vengono autorizzate, nè da parte dell'autorità richiedente, né da parte del soggetto. L'uso di metodiche alternative potrebbe essere una soluzione, ma di certo richiederanno una adeguata standardizzazione e validazione a livello internazionale.

Un ulteriore aspetto da considerare è legato al fatto che anche il dato fornito dalla migliore metodica per la stima dell'età in relazione al caso specifico, comporta sempre un margine di *errore*. Infatti, diversamente dagli altri campi di indagine antropologica, quali *razza* e  *sesso*, l'età è un giudizio numerico che viene effettuato tramite una quantificazione e classificazione di variabili specifiche. La necessità di fornire un numero pone problematiche ben specifiche, ed in particolar modo la necessità di discutere un intervallo di stima entro il quale collocare l'età stimata del soggetto, e l'importanza di una contestualizzazione dell'errore di stima per l'intervallo definito (vale a dire la probabilità del valore reale di non essere compreso nel range descritto). Tale particolarità conferisce indubbiamente maggiore oggettività al giudizio con altrettanto maggiore facilità di lettura da parte del giudice; la possibilità di fornire un errore medio

inoltre allinea la procedura di stima dell'età ai criteri di Daubert [71] per l'accertamento della scientificità dei metodi sperimentali utilizzati in sede di consulenza o perizia. In definitiva la precisazione dell'errore del risultato è fondamentale in ambito di stima dell'età biologica, in cui una formulazione errata di giudizio può comportare delle ripercussioni gravissime per un individuo, sia in ambito sociale che giudiziario.

Per essere ritenuti validi i metodi devono rigorosamente rispettare una serie di caratteristiche [72]: devono essere chiari e riconosciuti dalla comunità scientifica, a cui vengono sottoposti attraverso pubblicazioni su riviste accreditate; il numero del campione in esame deve essere adatto ad una rielaborazione statistica, che deve essere effettuata secondo i metodi più opportuni; devono essere presenti chiare informazioni relative alla precisione che il metodo raggiunge; i metodi devono avere una precisione che deve esaudire le richieste dell'ambito di applicazione, nel rispetto dei principi etici e medici per i soggetti in vita; devono essere fornite le indicazioni riguardanti l'origine genetica/geografica della popolazione, le condizioni socio-economiche e lo stato di salute; la tecnica utilizzata dovrebbe essere dettagliatamente descritta con il fine di poter essere seguita e riprodotta anche da altri accertatori.

È evidente che, sulla base di quanto sopra espresso, la stima dell'età nel vivente non si limita alla pura e semplice applicazione di metodiche ma si articola e trova la sua ragion d'essere in una discussione ragionata e scientificamente fondata dei risultati ottenuti; tale procedura può essere effettuata unicamente con gli strumenti della disciplina medico-legale, di cui la stima dell'età costituisce una delle sue applicazioni. E' necessario tuttavia sottolineare le necessità alle quali il consulente tecnico deve far fronte per rispondere nella maniera metodologicamente più corretta alle domande del Giudice.

Il giudizio sull'età, di natura medico legale, richiede un'adeguata discussione dei risultati forniti dai diversi metodi, che fornirà le basi per una selezione delle procedure più affidabili, con basi scientifiche più solide e una maggiore aderenza al gruppo razziale a cui il soggetto appartiene. Risulta per cui fondamentale:

1-fornire il risultato nella maniera più facilmente intellegibile per il giudice, possibilmente in maniera numerica e con indicazioni statistiche;

2-fornire un dato statistico anche sulla possibilità di maggiore età dell'individuo qualora il metodo lo consenta, come punto d'appoggio per giustificare la sentenza; il risultato ed il numero forniti devono accompagnarsi ad una adeguata discussione dei rispettivi limiti ed ambiti di utilizzo;

3-individuare e discutere alcuni elementi particolari (patologie preesistenti, condizioni ambientali, appartenenza razziale) che possono avere un peso nel risultato finale ottenuto dai metodi di stima e spiegare eventuali discordanze delle conclusioni riportate da metodi diversi; tale procedura fa parte di un generale approccio che va adottato in tutti i casi di stima dell'età e che richiede l'individuazione del risultato ottenuto in base alle caratteristiche biologiche uniche del soggetto. Infatti, dal momento che oggetto del procedimento è la persona in sé (e non, ad esempio, l'insieme di individui facenti parte dello stesso gruppo etnico), il risultato finale deve essere interpretato alla luce dei fattori di individualità specifici.

Vale la pena puntualizzare come il medico legale debba offrire le evidenze, secondo un approccio induttivo, forte ed empirico, guidato da quattro principi metodologici: causalità, imparzialità, simmetria, riflessività.

In un Tribunale, la scienza non può esistere semplicemente come fonte di verità trascendentale, ma può essere solo fonte di elementi di prova. L'evidenza scientifica che il medico-legale deve offrire al Giudice deve essere non solo quella scientificamente più corretta, ma anche rispettosa delle incertezze e delle fallibilità inevitabilmente connaturate ad ogni metodo scientifico [73].

Viceversa, al Giudice, il compito di verificare se i contenuti dell'elaborato peritale sono sostenuti da ragionamento scientifico e metodologie operative modernamente accettate, se l'opinione dei c.d. esperti è basata su dati scientificamente attendibili, se i dati scientifici a disposizione supportano la conclusione degli esperti e se i dati scientifici

invocati dai periti si applicano in maniera coerente con il caso analizzato (stima dell'età) secondo un criterio di contestualizzazione.



## **CAPITOLO 3 - LA RISONANZA MAGNETICA NELLA STIMA DELL'ETÀ: UNA NUOVA PROSPETTIVA**

### **3.1 - FENOMENI DI RISONANZA MAGNETICA**

Nel campo della determinazione dell'età le metodiche riconosciute, sopra ampiamente descritte, prevedono l'utilizzo di raggi x, non esenti tuttavia da questioni etiche legate all'esposizione di radiazioni ionizzanti per la fascia di età pediatrica e adolescenziale [74,75]. Se l'effettuazione di esami radiografici ai fini della diagnosi di età in campo forense trova una giustificazione in riferimento al codice di procedura penale, non altrettanto può dirsi nell'ambito di procedimenti civili e/o di asilo. Ne deriva che in queste ultime circostanze, gli esami sono molto spesso limitati ad un esame fisico e ad un esame dentale della cavità orale il che porta ad una considerevole diminuzione dell'affidabilità diagnostica della diagnosi dell'età.

Ci sono dei dati per determinare la quantità d'irradiazione a seconda del tipo di immagine; una radiografia mano/polso espone l'individuo ad un'irradiazione inferiore a 0,1 microsievert ( $\mu\text{Sv}$ ), una panoramica dentale ad un'irradiazione di 26  $\mu\text{Sv}$ , una radiografia delle clavicole ad una irradiazione di circa 200  $\mu\text{Sv}$  e una TC delle clavicole ad una irradiazione tra 600 e 800  $\mu\text{Sv}$ , a seconda che si tratti di scanner a spirale (600) o scanner convenzionale (800) [76,77].

Considerando che l'irradiazione che scaturisce da un volo intercontinentale di 10 ore espone a una radiazione di 50  $\mu\text{Sv}$ , la decisione di eseguire una scansione della clavicola in un contesto in cui non vi è alcun beneficio terapeutico deve quindi essere presa solo per le persone per le quali ci sono forti presupposti e indizi che depongono per un'età superiore a quella dei 18 anni [78].

In questo scenario, diversi studi in epoca recente hanno approfondito il possibile utilizzo di esami che non prevedono erogazione di radiazioni ionizzanti in materia di determinazione dell'età per scopi legali, come la della Risonanza Magnetica (RM).

La RM è una metodica relativamente moderna poiché risale al 1946, quando Purcell dell'Università di Harvard, Bloch e Packard della Università di Stanford ottennero i primi risultati e elaborarono la teoria. Uno spettrometro a RM consiste essenzialmente di un magnete, un emettitore di radiofrequenza e un rilevatore di frequenze radio. La RM è una tecnica strumentale non invasiva e senza effetti collaterali noti, basata sul fenomeno della risonanza magnetica nucleare (RMN). Anche se nella denominazione della tecnica è presente il termine "nucleare", la RM non va confusa con le metodiche di Medicina Nucleare. Per questo, comunemente, si preferisce omettere il termine nucleare e utilizzare solo "Risonanza Magnetica".

La RM [79] è una tecnica di indagine sulla materia che sfrutta la proprietà che i nuclei di certi atomi hanno nel compiere un momento magnetico di rotazione. Questo è il caso dell'atomo di idrogeno che si trova in grandi quantità nelle molecole che costituiscono i tessuti biologici come l'acqua e le molecole organiche. I responsabili del segnale, che è alla base della formazione delle immagini RM, sono i protoni. I protoni e, quindi, la loro carica elettrica, ruotano attorno ad un asse (si dice che hanno uno *spin*) generando un microscopico campo magnetico. Normalmente, questi microscopici campi magnetici sono orientati casualmente e, perciò, il vettore magnetico risultante dalla loro somma è nullo. Se sottoposti ad un forte campo magnetico esterno stazionario ( $B_0$ ), l'asse dei protoni si orienterà lungo il campo stesso. Questo orientamento può avvenire o nella stessa direzione di  $B_0$  (in maniera parallela, cioè con basso livello energetico) o con direzione opposta (in maniera antiparallela, cioè con alto livello energetico).

I protoni paralleli sono leggermente prevalenti rispetto a quelli antiparalleli. Questa piccola prevalenza produce una magnetizzazione risultante  $M$ , orientata parallelamente a  $B_0$  e misurabile. Inoltre sempre per effetto di  $B_0$ , l'asse di ciascun protone ruota attorno alla direzione del momento di  $B_0$  (precessione). I movimenti di precessione possono essere paragonati alle oscillazioni di una trottole.

La frequenza di precessione è caratteristica di ogni elemento atomico (frequenza di Larmor). I protoni utilizzati per produrre immagini RM sono quelli dell'Idrogeno che,

naturalmente, abbondano nei tessuti viventi, in particolare quelli ricchi di acqua. Per mettere in risonanza i protoni dell'Idrogeno, si invia un'onda radio con frequenza pari alla frequenza di Larmor per l'Idrogeno (ad esempio, per un campo di 1 Tesla, essa è pari a 42 MHz). Mettere in risonanza un protone significa fornirgli energia (è un fenomeno analogo alla spinta che diamo ad un'altalena che, se data al momento giusto, fa aumentare l'ampiezza delle oscillazioni).

Inviando l'impulso di radiofrequenza (RF) sugli atomi compresi nel campo magnetico si determinano principalmente due cose:

1) la sincronizzazione dei protoni nella stessa fase di precessione (ruotano non solo alla stessa frequenza ma anche in maniera coordinata); quando i protoni precedono in fase tra loro, si genera un vettore di magnetizzazione trasversale, che ruota nel piano x-y. Questo vettore, a sua volta, genera una piccola corrente rilevabile nel circuito ricevente (antenna); un impulso RF capace di spostare la magnetizzazione M sul piano x-y viene definito impulso di 90°.

2) il passaggio di alcuni protoni dal livello energetico basso (paralleli a  $B_0$ ) al livello energetico alto (antiparalleli a  $B_0$ ).

Un impulso RF di durata o intensità doppia rispetto a quello di 90°, è in grado di ribaltare il vettore di magnetizzazione M in posizione antiparallela rispetto a  $B_0$  ed è perciò detto impulso di 180°.

Una volta cessato l'impulso RF si verifica: a) la progressiva desincronizzazione della precessione dei protoni, con conseguente decadimento della magnetizzazione trasversale; b) il ritorno ad un livello energetico basso da parte dei protoni che avevano subito un'inversione di 180°. In ambedue i casi si parla di rilassamento durante il quale si generano degli impulsi misurabili tramite una bobina che funge da antenna ricevente. Il rilassamento dei protoni avviene con due costanti di tempo distinte:

- la prima, definita T1 (rilassamento spin-reticolo), indica la rapidità con cui si ricostituisce il momento M del campo  $B_0$ ; può essere rappresentata da una funzione esponenziale;

- la seconda, definita T2 (rilassamento spin-spin), indica il tempo di annullamento della componente di magnetizzazione trasversale determinata dalla sincronizzazione di fase dei movimenti di precessione; anch'essa può essere rappresentata da una funzione esponenziale.

### **3.2 - IL CONTRIBUTO DELLA RM NELLA DETERMINAZIONE DELL'ETA'**

L'impiego della RM su regioni anatomiche indagate da tempo mediante esami radiografici è legato alla necessità di dover confrontare i risultati con i dati già esistenti per la stima dell'età. Questo è il motivo per cui il polso e la mano sinistra, così come l'estremità mediale della clavicola, sono stati oggetto di studi scientifici con tecniche non ionizzante (ecografia, RM).

#### ***Epifisi dell'estremità sternale della clavicola***

Il primo studio di RM sull'ossificazione dell'epifisi clavicolare mediale è stato pubblicato nel 2007 da Schmidt et al. [80]. I ricercatori hanno cercato una procedura per la stima dell'età nell'ambito di un procedimento penale, bypassando il problema dell'esposizione a radiazioni ionizzanti. In particolare hanno analizzato prospetticamente 54 RM di articolazioni sternoclaveari eseguite su cadaveri di età compresa tra i 6 e 40 anni, valutando in tutti i casi il grado di ossificazione delle cartilagini epifisarie clavicolari mediali. I risultati hanno mostrato che gli intervalli di età in ordine ai rispettivi gradi di ossificazione corrispondevano a quelli già noti degli esami ad Rx e TC; tuttavia il protocollo di misurazione, con un tempo di acquisizione di 88 minuti, doveva essere modificato per renderlo impiegabile su persone viventi.

Nel 2011, Hillewig et al. [81] hanno proposto un approccio di RM dell'epifisi clavicolare mediale in persone viventi caratterizzato da una durata di 4 minuti; nell'assegnare gli stadi di sviluppo, è stata osservata una minore variabilità tra gli osservatori alla RM

rispetto alla radiografia normale. Seppur non eliminando le difficoltà legate alla distinzione delle diverse fasi di ossificazione, i ricercatori concludevano che la RM 3T fornisce immagini cross-sectional ad alta risoluzione della maturazione della clavicola in un tempo molto breve, consentendo una determinazione più accurata dell'età ossea rispetto alla radiografia normale.

Questo studio portava gli stessi autori [82] ad analizzare un campione di 220 individui confrontando i risultati della RM (VIBE gradiente sequenza T1 echo, tempo di acquisizione 6 minuti) di due classificazioni, quella di Schmeling e quella di Kreitner [83]. Le diverse fasi sono state confrontate con l'età valutata mediante il metodo Greulich e Pyle (radiografia mano/polso) per gli stessi individui. Un approccio bayesiano è stato adottato per valutare la probabilità condizionata dell'età di un individuo in relazione alla soglia di 18 anni. I risultati hanno mostrato che la classificazione di Kreitner era più adatta alla RM di quella di Schmeling. Le probabilità condizionali hanno determinato che un individuo con una clavicola classificata in fase 4 aveva una probabilità dello 0,8% di avere meno di 18 anni nel caso delle femmine e dello 0,2% per i maschi. Inoltre, gli esaminatori non sempre sono riusciti a distinguere le diverse fasi (fase 1: assenza di centro di ossificazione, assenza di epifisi; fase 4: fusione completa); è stato quindi raccomandato di eseguire una radiografia mano/polso per correggere questo potenziale errore.

Nel 2014 Vieth et al. [84] analizzarono lo stadio di ossificazione delle epifisi clavicolari mediali in 152 calciatori maschi nella fascia di età dai 18 ai 22 anni, mediante RM 3T. L'unico calciatore con ossificazione completa dell'epifisi clavicolare mediale aveva 21,2 anni; lo studio concludeva che la presenza di un'epifisi mediale clavicolare completamente ossificata fornirebbe la prova del completamento del ventesimo anno di vita, conferendo pertanto un modo per poter identificare detta specifica età (20 anni).

Nel 2017 Schmidt et al. [85] hanno intrapreso uno studio prospettico su un campione di riferimento di 334 donne e 335 volontari tedeschi di sesso maschile di età compresa tra 12 e 24 anni utilizzando una RM 3T. Lo stadio di ossificazione IIIc offriva un mezzo in

entrambi i sessi per dimostrare che l'età di 18 anni veniva raggiunta prima della completa ossificazione della placca epifisaria. Per entrambi i sessi se un soggetto presentava uno stadio di ossificazione IV, aveva raggiunto l'età di 21 anni.

In conclusione, a conferma dei recenti lavori pubblicati in materia, la RM si presenta come procedura diagnostica valida per determinare lo stadio di ossificazione dell'estremità sternale dell'epifisi clavicolare.

### ***Epifisi tibiale distale - calcaneare***

La RM per la stima dell'età a scopi forensi è stata altresì testata sull'epifisi distale di tibia e dell'osso calcaneare, nonché rivolta soprattutto a soggetti con un range di età di 13-16 anni.

A causa delle limitazioni nella visibilità alle indagini rx questa regione anatomica non è stata spesso indagata, ma la RM ne ha permesso di analizzare lo stadio di ossificazione e la fusione dell'epifisi. Lo studio di Saint-Martin et al. [86] del 2013 ha sviluppato un sistema di 3 stadi per l'epifisi tibiale distale e l'epifisi calcaneare, e ne ha valutato l'affidabilità su 180 scansioni di RM di caviglia/piede in un campione di individui di età compresa tra 8 e 25 anni. In questo studio sono state utilizzate le probabilità predittive bayesiane per valutare la validità del metodo nella stima dell'età di un individuo, in relazione alla soglia di 18 anni di età. Dai risultati è emerso che il ridotto numero di stadi ha diminuito l'errore soggettivo, pur residuando errori riguardo alla soglia dei 18 anni, specialmente in soggetti di sesso femminile. Dallo studio risultava che le femmine raggiungevano lo stadio 3 diversi anni prima della soglia della maggiore età (età media 15,4 anni per la tibia e 12,6 anni per il calcagno), per cui la fusione di entrambe le epifisi veniva ad essere completata molto prima che fosse raggiunta il diciottesimo anno di età. I risultati dello studio hanno consentito di concludere che la RM della tibia distale e del calcagno era considerata un valido metodo, da utilizzare comunque in associazione ad altre metodiche, ai fini della determinazione dell'età in soggetti viventi.

### ***Epifisi tibiale prossimale – femorale distale***

Considerando un'altra porzione ossea quale quella dell'epifisi prossimale della tibia, per essa sono stati prodotti ad oggi pochi lavori. Jopp et al. [87] hanno analizzato l'ossificazione epifisaria della tibia prossimale in funzione dell'età, ricavandone una correlazione. Lo studio era basato su scansioni di RM eseguite su 41 maschi sani di età compresa tra 15 e 19 anni. Le immagini sono state generate su uno scanner da 1,5 T e uno scanner da 3,0 T (Gyrosan Intera, Philips, Netherlands). È stata valutata una sequenza turbo-echo pesata T1 (T1-TSE) in sezione coronale e sagittale. I punti critici dello studio erano legati all'assenza di soggetti di sesso femminile, nonché al numero limitato di casi oggetto di analisi.

Successivamente nel 2012 Dedouit [88] ha analizzato l'ossificazione dell'epifisi tibiale prossimale-femorale distale in 152 pazienti di sesso femminile e 138 di sesso maschile di età compresa tra 10 e 30 anni; è stata data una classificazione considerando 5 fasi di ossificazione. I risultati hanno mostrato che in entrambi i sessi i cambiamenti dei piatti di crescita ossea (tibia prossimale o femorale distale) erano significativamente correlabili all'età ( $p < 0,001$ ) e osservavano una maturazione più precoce nelle femmine che nei maschi dell'epifisi tibiale prossimale rispetto all'epifisi femorale distale. Hanno concluso che la RM del ginocchio è un metodo efficace non invasivo per la valutazione dell'età, non nascondendo tuttavia che erano necessari ulteriori studi su gruppi più ampi per supportare i loro risultati.

La ricerca condotta da Kramer [89] nel 2014 ha utilizzato scansioni RM eseguite su 124 femmine e 166 maschi di età compresa tra i 10 e 30 anni. Tutte le immagini sono state generate su uno scanner 3.0 T utilizzando una sequenza turbo-echo pesata T1. Per l'analisi hanno utilizzato una combinazione di classificazioni modificate proposte da Schmeling et al. e da Kellinghaus et al. per valutare lo stadio di ossificazione. Hanno osservato che una diagnosi di uno stadio di ossificazione IIIc secondo Kellinghaus et al. nei maschi e uno stadio di ossificazione IV secondo Schmeling et al. sia nelle femmine che nei maschi fornivano prove sufficientemente affidabili del completamento del 14°

anno di vita; la diagnosi di uno stadio di ossificazione IV secondo Schmeling et al. nei maschi forniva prove valide del completamento del sedicesimo anno di vita. I limiti evidenziati erano legati al fatto che, trattandosi di uno studio retrospettivo, era possibile solo valutare una sequenza RM per ciascun soggetto; era dagli stessi autori suggerito che per studi futuri oltre alle sequenze pesate in T1, sensibili all'acqua, si avrebbe dovuto impiegare sequenze RM di soppressione del grasso, onde meglio rappresentare la cartilagine epifisaria.

Nel 2016 Ekizoglu et al. [90] hanno studiato l'utilità della RM 3T nel determinare il grado di ossificazione delle epifisi tibiali femorali e prossimali distali in un gruppo di popolazione turca. Hanno analizzato, mediante studio retrospettivo, sequenze coronali T2 pesate e turbo spin-eco di RM eseguite su 503 pazienti (305 maschi, 198 femmine, età 10-30 anni) utilizzando un metodo a cinque stadi. Hanno osservato che le prime età in cui l'ossificazione degli stadi 3, 4 e 5 erano evidenti nell'epifisi femorale distale erano rispettivamente di 14, 17 e 22 anni nei maschi e 13, 16 e 21 anni nelle femmine. L'epifisi tibiale prossimale delle negli stadi di ossificazione 3, 4 e 5 è stata rilevata per la prima volta rispettivamente a 14, 17 e 18 anni nei maschi e 13, 15 e 16 anni nelle femmine. Gli autori del lavoro conclusero che la RM del ginocchio è una tecnica alternativa, non invasiva e affidabile per stimare l'età.

In epoca recente, Ottow et al. [91], volendo approfondire la rilevanza della fusione ossea delle epifisi distali del femore e della tibia prossimale mediante RM, hanno condotto uno studio prospettico di coorte trasversale, ponendo particolare attenzione ad una determinazione affidabile del 14°, 16° e 18° anno di vita. Sono stati sottoposti a RM 658 volontari tedeschi nella fascia d'età 12-24 anni utilizzando RM 3T e utilizzando una sequenza spin-echo turbo T1. Dai risultati ottenuti risulta che la fusione ossea ha avuto luogo prima del 18° anno di vita in entrambe le epifisi, con differenze statisticamente significative correlate al sesso per la maggior parte delle fasi. In conclusione il 14° e il 16° anno di vita potevano essere determinati in entrambi i sessi,



ma il completamento del 18° anno di vita non poteva essere determinato solo dalla fusione ossea delle epifisi.

In ultimo Vieth et al. [92] nel 2018, hanno eseguito uno studio prospettico trasversale mediante RM 3T di ginocchio. Hanno analizzato 344 maschi e 350 donne volontarie di nazionalità tedesca di età compresa tra 12 e 24 anni mediante RM 3T, acquisendo una sequenza turbo-echo pesata in T1 (T1-w) e una sequenza TSE pesata in T2 (T2-w). Le immagini sono state poi valutate utilizzando una classificazione strutturata in 5 diverse fasi di ossificazione. L'applicazione della nuova classificazione ha permesso di valutare correttamente la maggiore età in entrambi i sessi mediante l'esame delle epifisi dell'articolazione del ginocchio, con buoni livelli di correlazione intra- e inter-osservatore e con differenze significative correlate al sesso per la maggior parte delle fasi. Lo studio concludeva, pertanto, per una fattibilità di determinare il completamento del 18° anno di vita in entrambi i sessi mediante analisi con RM con 3T sull'articolazione del ginocchio.

I risultati ottenuti dagli studi sopra descritti richiedono un'attenta lettura, in quanto non sono sempre comparabili a causa dei diversi tipi di sequenza di RM utilizzata e del tipo di sistema di classificazione dello stadio scelto. È interessante la raccomandazione fatta da Ekizoglu et al. che hanno evidenziato la necessità di futuri studi multicentrici con un'analisi comparativa di metodi diversi come quelli descritti da Kramer et al. e Dedouit, al fine di trarre conclusioni utili e chiare in merito all'analisi RM dell'articolazione del ginocchio per la stima dell'età.

### **3.3 - LA RM PER LA VALUTAZIONE DELLO SVILUPPO DELLE OSSA DEL DISTRETTO MANO-POLSO**

L'ossificazione delle ossa del polso e della mano è un pattern specifico e indicativo dell'età di un minore fino alla fine dell'adolescenza-inizio maggiore età, quando

l'allungamento dell'osso giunge pressochè a completamento. La radiografia mano-polso è considerata indicativa della maturità scheletrica ed è rimasta sino ad oggi la metodica "gold standard" per la stima dell'età, sia in uso unico che in combinazione con altre tecniche che tendenzialmente prevedono l'utilizzo di radiazioni ionizzanti. Relativamente alla regione del carpo la RMN, rispetto alla radiografia che limita grossolanamente l'osservazione alle sole componenti ossee, fornisce ulteriori importanti informazioni: consente di distinguere con definizione i singoli nuclei di ossificazione, visualizza la cartilagine che circonda le singola ossa e che rappresenta una componente critica dello sviluppo scheletrico progressivo, mette in risalto la loggia entro cui il nucleo si sviluppa ma mano che si assottiglia la cartilagine con l'aumentare dell'età. In altri termini mette a disposizione dell'operatore più dettagli per poter correlare l'età scheletrica con l'età cronologica.

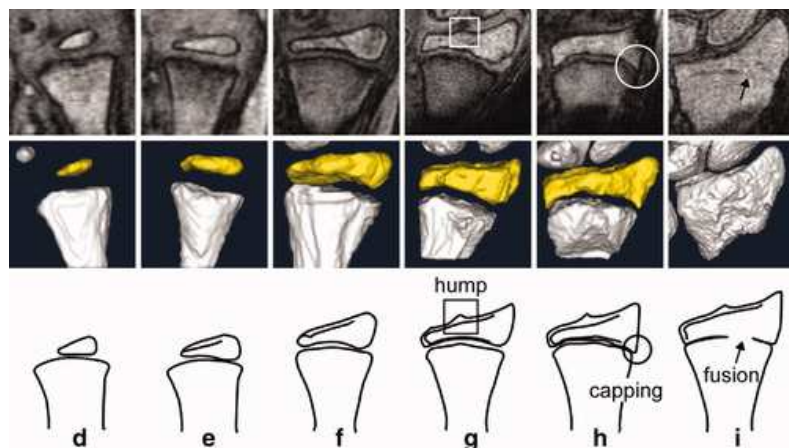
Diverse questioni hanno contribuito a prevedere l'uso della RM per la stima dell'età al posto delle tradizionali radiografie. In particolare la RM mano-polso è stata di recente utilizzata per derimere alcuni dubbi in ambito di medicina dello sport, volendo assicurare un'età cronologica corretta di atleti in competizioni di tipo agonistico [93].

Sia la FIFA che le Confederazioni Sportive Internazionali hanno istituito tornei con limiti di età per giocatori di sesso maschile e femminile, al fine di garantire pari opportunità nel gioco per le diverse fasce d'età. Nel corso degli anni, questi tornei hanno guadagnato popolarità, in particolare quelli delle Coppe del Mondo U-17 e U-20 [94]. Sfortunatamente in diverse circostanze è emerso il sospetto che l'età cronologica di alcuni giocatori partecipanti potesse essere maggiore dell'età documentata indicata sui passaporti o certificati di nascita utilizzati per determinare l'ammissibilità al torneo. Tali discrepanze portano a opportunità impari, entrando chiaramente in contrasto con l'etica dello sport e il fair play Dvorak, 2009 [95].

Nel 2003, la FIFA, ben consapevole della questione etica e giuridica relativa all'utilizzazione di esami radiografici per stimare l'età degli sportivi, ha istituito un protocollo con impiego di RM, simultaneamente a Zurigo (Svizzera), Kuala Lumpur

(Malesia), Buenos Aires (Argentina) e Algeri (Algeria), per testare 500 Giocatori di calcio dai 14 ai 19 anni la cui età cronologica è stata inequivocabilmente acclarata da un certificato di nascita considerato "affidabile". Le RM dei polsi sono state eseguite secondo uguali modalità (sezioni coronali in sequenza T1 pesata) e interpretati secondo la stessa classificazione in 6 fasi. Dagli accertamenti eseguiti, la completa fusione del radio e dell'ulna avveniva prima di 17 anni solo nell'1% dei casi; tale dato è stato particolarmente utile per il torneo della Coppa del Mondo U-17, i cui partecipanti devono avere meno di 17 anni. Dai risultati emergeva, inoltre, che la maturazione ossea era più veloce nei ragazzi argentini e malesi piuttosto che nei ragazzi algerini e svizzeri . Successivamente la FIFA's Medical Assessment and Research Centre (F-MARC) ha eseguito RM al polso su giocatori selezionati a random, durante i Mondiali U-17 del 2003, 2005 e 2007. Quasi il 35% delle persone selezionate ha avuto una completa fusione del polso (Dvorak, 2007b). Nel 2009, quando la FIFA ha annunciato un consolidamento dei controlli relativamente all'età effettiva dei candidati, alcuni allenatori hanno cambiato fino a 15 giocatori nella loro squadra. Il protocollo è stato ampliato in Malesia, dove ragazzi di età compresa tra i 15 e i 19 anni sono stati indagati mediante RM e Rx del polso, con effettuazione degli esami in separati momenti. La radiografia ha sovrastimato la maturazione ossea rispetto alle immagini RM, dove è stato possibile rilevare aree non completamente fuse, mentre la radiografia mostrava una fusione completa [96]. In un lavoro più recente è stata effettuata una RM aperta mano-polso a 93 giapponesi di età compresa tra 4 e 16 anni [97]. Le immagini sono state analizzate per segmentazione con il metodo di Tanner e Whitehouse TW2 (Fig. 13).

Figura 13 - Valutazione scheletrica dell'epifisi distale del radio per gli stadi TW2 da d a i. Le età e i sessi cronologici di ciascun volontario sono (d) 5.1 (ragazzo), (e) 4.2 (ragazza), (f) 9.9 (ragazzo), (g) 11.5 (ragazzo), (h) 14.0 (ragazza), e (i) 16.4 (ragazzo).



La RM e la segmentazione 3D hanno visualizzato le caratteristiche morfologiche dettagliate delle singole ossa della mano e del polso; l'età scheletrica sulla base delle valutazioni RM aveva una forte correlazione positiva con l'età cronologica e dimostrava una riproducibilità intra e inter-osservatore elevata.

Con l'intento di monitorare i limiti di età nello sport del calcio professionistico a livello internazionale, un gruppo di 152 calciatori maschi dai 18 ai 22 anni è stato esaminato prospetticamente utilizzando la RMN; lo stadio di ossificazione dell'epifisi radiale distale è stato determinato sulla base dei criteri stabiliti per determinare la maturità dell'epifisi clavicolare mediale [98]. Questo studio pilota ha selezionato una maggiore intensità di campo di 3T e ridotto lo spessore della sezione della scansione da valutare a 1 mm, così facendo è stato possibile migliorare la valutazione della cicatrice epifisaria, una caratteristica del processo avanzato di maturazione epifisaria. I risultati hanno mostrato evidenza di un aumento della prevalenza del fenomeno della triplice stratificazione lineare nella rappresentazione della piastra epifisaria fusa del radio utilizzando la RM con età cronologica crescente. I soggetti testati con una piastra ossea senza alcuna cicatrice epifisaria apprezzabile non erano rappresentati. L'età minima presumibilmente alta per entrare in questa fase finale di sviluppo (> 22 anni) deve essere verificata nel

corso di ulteriori studi. In conclusione gli sperimentatori hanno dimostrato che la piastra epifisaria fusa del raggio distale fornisce potenziali criteri di maturazione adatti ai limiti di età pertinenti nel calcio internazionale.

Più recentemente sono stati fatti tentativi per ricreare un atlante di mani e polsi come quello sviluppato da Greulich e Pyle con immagini RM.

Nel nostro Paese, un embrionale contributo della RM come possibile alternativa all'esame radiologico si finì della stima dell'età era stato apportato dal Prof. Tomei dell'Università di Roma nel 2009; la ricerca era stata finanziata dal Ministero dell'Interno. I vantaggi della metodica evidenziati dal Prof. Tomei erano legati alla possibilità di valutare direttamente le cartilagini di accrescimento e altri aspetti non visibili con la "semplice" radiologia.

Nel 2014 lo stesso Tomei et al. [99] hanno pubblicato uno studio pilota su 179 soggetti di età compresa tra 11 e 16 anni utilizzando una RM aperta a 0,2 Tesla, con scansioni coronali di immagini in sequenze T1 pesate con uno spessore della sezione di 1,3 mm; lo scopo era quello di valutare la determinazione dell'età ossea osservando la progressiva maturazione delle ossa carpali descritte da Greulich e Pyle e includendo l'aspetto e la vacuolizzazione della cartilagine non osservabile mediante normali radiografie. Le analisi degli sperimentatori hanno mostrato che era possibile utilizzare la RM polso-mano per la determinazione dell'età ossea, con una possibile realizzazione di atlante di sviluppo scheletrico, includendovi la maturazione della cartilagine.

Con uno studio pubblicato nello stesso anno da Stern et al. [100], sono state analizzate immagini volumetriche di RM mediante un metodo completamente automatizzato.

Un approccio automatizzato per stimare l'età, ma da immagini radiografiche, era già stato proposto da Thodberg HH et al. nel 2009 [101]. Il metodo, denominato BoneXpert, ricostruiva, dalle radiografie della mano, i bordi di 15 ossa automaticamente e quindi calcolava l'età ossea per ciascuna delle 13 ossa, per poi procedere ad una conversione in età ossea secondo i metodi di Greulich e Pyle (GP) o Tanner Whitehouse (TW).

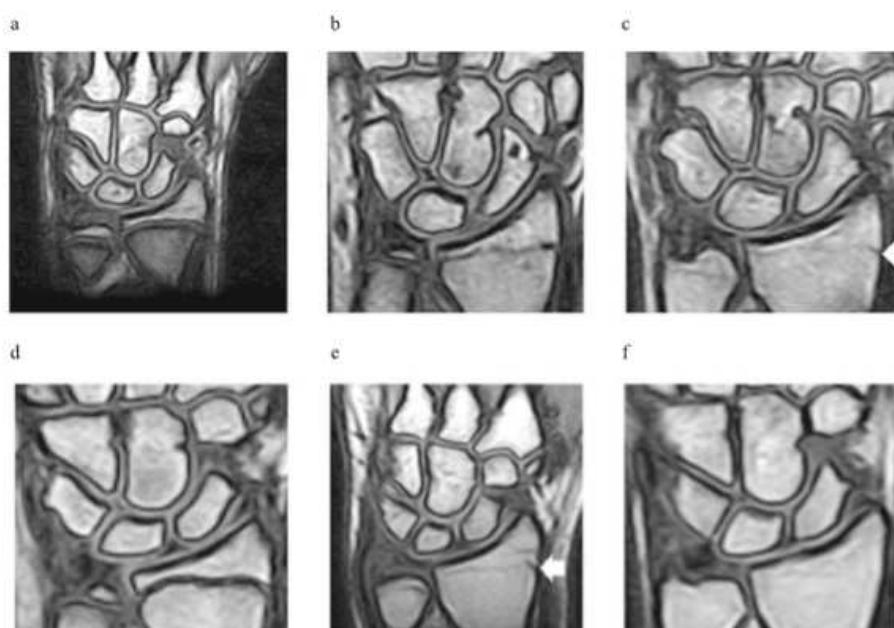
Stern et al. hanno analizzato un set di dati di 56 soggetti maschi di età compresa tra 13 e 19 anni e sono stati in grado di stimarne l'età con una differenza media di  $0,85 \pm 0,58$  anni rispetto all'età cronologica, con risultati sostanzialmente sovrapponibili a quelli derivanti dall'applicazione di metodi radiografici. L'idea di sviluppare un software di analisi delle immagini automatizzato per la stima dell'età è ancora più vantaggiosa quando si usano immagini RM, stante la necessità di interpretare ulteriori informazioni 3D complesse che non sono disponibili alle immagini radiografiche proiettive.

Nel 2015 Urschler et al. [102] hanno utilizzato i risultati del loro precedente studio (Stern et al. 2014) e hanno sviluppato un metodo basato su imaging RM multifattoriale automatico mediante software: il programma individuava automaticamente la localizzazione del gap volumetrico osseo ed epifisario delle ossa lunghe in ciascun dataset calibrato su età cronologica nota. E' stato poi realizzato un modello di regressione tenuto conto delle caratteristiche di mappatura ossea, con un calcolo di previsione dell'età per ciascun osso ed un calcolo finale della stima dell'età. Da questo studio emergeva che vi era una differenza maggiore tra l'età stimata e cronologica per i gruppi di età tra i 14 ei 16 anni, probabilmente in relazione al fatto che i bambini maschi entrano nella pubertà durante questa fascia di età, avendo così una maggiore variazione biologica. Seppur apprezzabile la prospettiva di sviluppare una metodica automatizzata per la stima dell'età basata su dati di RM, il suddetto approccio richiede ulteriori approfondimenti e andrebbe quantomeno testato su casistiche più ampie e anche su soggetti di sesso femminile.

Per la stima delle'età a scopi prettamente forensi mediante impiego di RM polso-mano, ci sono alcuni studi eseguiti su campioni sia maschili che femminili, che hanno ottenuto risultati soddisfacenti. Uno è quello condotto da Serinelli et al. [103] che hanno utilizzato il metodo RM di Tomei [104] per valutare l'accuratezza della stima dell'età scheletrica in un campione di 77 maschi e 74 femmine tra i 12 e i 19 anni. Il metodo di Tomei si tratta di un sistema di classificazione basato sull'analisi delle ossa tubulari e carpali del polso/mano di sinistra in diversi stadi di maturazione cronologica, dalla prima fase

dell'aspetto di massa cartilaginea alla fusione finale di metafisi ossea ed epifisi. I risultati ottenuti dagli sperimentatori hanno mostrato che confrontando le immagini di bambini maschi di 14, 16 e 18 anni con femmine della stessa età, i maschi presentavano un ritardo nella maturazione dell'età scheletrica con la piastra di crescita aperta, in accordo con il fatto che lo scheletro della mano matura più rapidamente nelle femmine (Fig. 14).

Figura 14 - RM di maschi 14,16 e 18 (rispettivamente a, b, c) rispetto a femmine della stessa età (rispettivamente, figure d, e, f), tratto da Serinelli et al. 2015



Nelle femmine di 16 anni era presente una incisione radiale mentre nei maschi la stessa era visualizzabile all'età di 18 anni (freccia bianca Fig. 12). All'età ossea di 18 anni nel campione esaminato le differenze tra l'età scheletrica e il valore medio dell'età cronologica erano comprese tra -0,5 e -0,2 anni.

In un altro studio del 2016 condotto da Serin et al. [105] sono state effettuate RM su 263 soggetti viventi, 107 maschi e 156 femmine, con un'età compresa tra i 9 ei 25 anni; ivi è stato utilizzato un sistema di punteggio a tre stadi applicato a tutte le epifisi (Fig. 15, 16, 17).

Figura 15 - Stadio 1: nessuna fusione tra metafisi e epifisi.

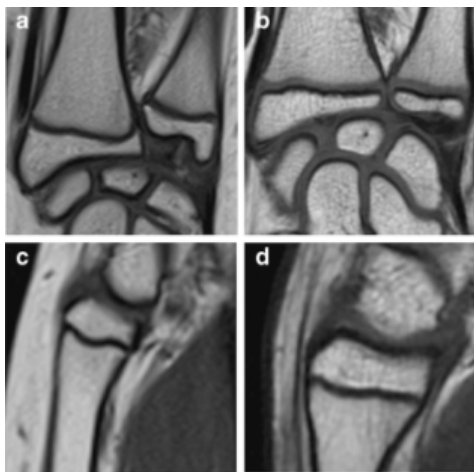


Figure 16 - Stadio 2: parziale fusione tra metafisi e epifisi.

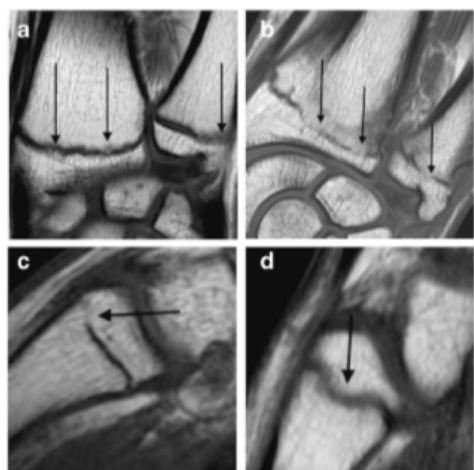
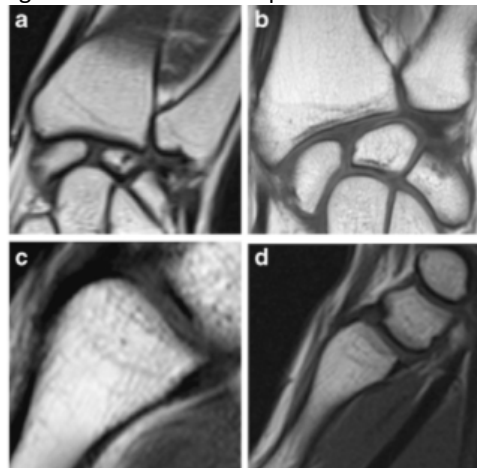


Figura 17 - Stadio 3: completa fusione tra metafisi ed epifisi.





Questo metodo ha consentito di valutare correttamente la soglia dei 18 anni di età in oltre l'85% dei casi e ha permesso di osservare che la valutazione del radio distale è sufficiente per effettuare una corretta valutazione dell'età scheletrica.

Nel 2017 Timme et al. [106] hanno effettuato uno studio che testava un nuovo criterio basato sulla valutazione della maturità dell'epifisi distale radiale per determinare la soglia della maggiore età; hanno analizzato 668 scansioni MRI con 333 femmine e 335 maschi di età compresa tra 12 e 24 anni. Lo stadio di ossificazione è stato determinato utilizzando il sistema di stadiazione descritto da Schmeling et al e Kellinghaus et al. Lo stadio di ossificazione IV descritto da Schemeling et al. era diviso in due sottostrati IVa e IVb, a seconda della possibilità di identificare una zona meta-epifisaria a tripla fascia di calcificazione. L'età del soggetto femminile più giovane valutato come stadio di ossificazione IVb era di 16.8 anni, l'età del soggetto maschio più giovane era di 18.6 anni. L'età più giovane alla quale i soggetti di sesso femminile erano stati valutati come stadio di ossificazione V era di 22.3 anni, per i soggetti maschili era di 23.1 anni. Il principio della minima età ha una importanza cruciale nella fase di ossificazione, per la quale l'età minima è maggiore di 18 anni. Nei risultati dello studio di Timme questa fase era lo stadio di ossificazione V nelle donne e gli stadi di ossificazione IVb e V negli uomini. Lo stato di ossificazione IVb dovrà ancora essere studiato in modo indipendente per determinare in modo affidabile se un soggetto di sesso maschile ha completato l'età di 18 anni.

Come si può osservare dagli studi citati, ad eccezione di pochi che hanno sviluppato nuovi sistemi di stadiazione specifici per la RM, i gruppi di ricerca hanno intrapreso studi per la stima dell'età mediante RM utilizzando metodi originariamente ideati e sviluppati su immagini a raggi X. Urschler et al. [107] in un lavoro pubblicato nel 2016 hanno cercato di valutare se gli approcci oramai noti di GP e TW2 potessero trovare applicazione su immagini di RM. Hanno analizzato esami Rx e di RM di 18 soggetti di età compresa tra 7 e 17 anni, giungendo alle conclusioni che nonostante i limiti legati alle dimensioni ridotte del campione, l'applicazione dei metodi di GP e TW2 su immagini RM

offre la possibilità di stimare l'età ossea (mano) evitando il problema di esposizione a radiazioni ionizzanti.

Hojreh A et al. [108] in uno studio pubblicato nel 2018 hanno ugualmente considerato di applicare la RM per valutare l'età in giovani adolescenti, utilizzando i criteri dell'atlante di GP e concludendo che la RM della mano sinistra è un'alternativa valida alle radiografie valutate mediante i criteri GP con due deviazioni standard (DS); utilizzando una SD, tuttavia, l'età dei soggetti tendeva ad essere in tal caso stimata superiore all'età cronologica.

A nostro parere la RM rappresenta una metodica di diagnostica per immagine valida per la stima dell'età ossea; per essere altrettanto valida come alternativa all'Rx occorreranno studi su casistiche più ampie e differenziate a seconda delle popolazioni reclutate. La maggior parte degli studi sopra illustrati delineano sistemi di stadiazione o di valutazione di immagini, utilizzando come substrato i lavori noti che a partire dalla metà del XX secolo si sono basati sull'impiego di rx, soprattutto per quanto concerne il distretto polso-mano.

L'utilizzazione della RM ai fini della stima dell'età, mediante approcci e modelli dove vengono evidenziate caratteristiche iconografiche che un "semplice" esame radiografico non è in grado di visualizzare, è una sfida non facile che, con il nostro progetto di ricerca, abbiamo cercato prudenzialmente di affrontare.

# **CAPITOLO 4 - PROGETTO DI RICERCA: STUDIO DELL'OSSIFICAZIONE DELLE OSSA CARPALI SU IMMAGINI RM PER LA STIMA DELL'ETÀ**

## **4.1 - RAZIONALE DELLO STUDIO**

L'indagine della regione carpale mediante imaging a RM per la stima dell'età è stata sino ad oggi presentata in pochi lavori, alcuni dei quali hanno preso in considerazione lo sviluppo delle ossa del carpo congiuntamente alla maturazione delle ossa tubulari (allungate) del polso, vale a dire ulna e radio.

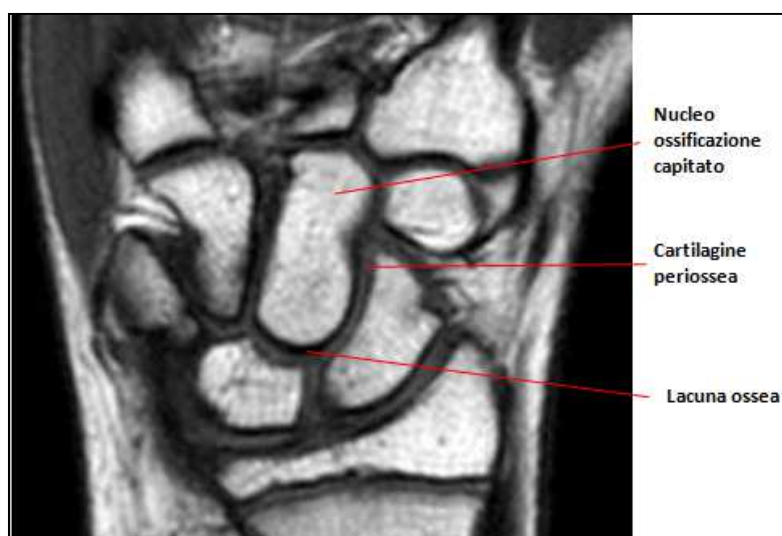
Lo studio di Serinelli et al. (2015), ove sono state analizzate immagini RM mano-polso di 77 maschi e 74 femmine, riporta una descrizione dettagliata circa le fasi di sviluppo delle ossa del carpo, in rapporto all'età scheletrica. Nella fattispecie si evince che lo sviluppo delle ossa carpalì mostra peculiari caratteristiche:

- le prime fasi sono simili alla maturazione cartilaginea delle ossa tubolari (cloud-like and mold sculpture appearance);
- la fase successiva è rappresentata dalla vacuolizzazione della cartilagine che è visibile come un piccolo nucleo ipointenso al centro della cartilagine massa;
- si ha poi che il nucleo del centro di vacuolizzazione aumenta di dimensioni;
- successivamente compare il primo nucleo di ossificazione; in questa fase la cartilagine è un bordo spesso intorno all'osso (cartilagine periossea);
- l'aumento delle dimensioni dell'osso è accompagnato dalla riduzione progressiva dello strato di cartilagine;
- l'ultima fase è caratterizzata dalla disassociazione del bordo cartilagineo e la presenza di faccette articolari tra le ossa del carpo.

Ora nella fase in cui l'osso aumenta di dimensioni, vi è una progressiva riduzione dello strato di cartilagine periosseo; questo determina la formazione di lacune (o interfacce

osseo-cartilaginee), in accordo a quanto si realizza nelle fasi del processo di ossificazione endocondrale cui ciascun osso del carpo va incontro (Fig. 18). Pur avendo in precedente capitolo descritto in dettaglio il meccanismo dell'ossificazione indiretta, vale la pena ricordare che detto processo si caratterizza per la presenza di diverse fasi, tra cui quella in cui si formano zone di degenerazione della cartilagine con formazione di lacune che vengono progressivamente popolate da vasi sanguigni e da cellule osteoprogenitrici per garantire l'accrescimento osseo, che nel caso del carpo avviene in senso centrifugo.

Figura 18 - Immagine RMN di polso-mano di soggetto 13enne, in cui si possono osservare in dettaglio i singoli nuclei di ossificazione, la cartilagine periossea e la lacuna ossea che si crea man mano che la cartilagine si assottiglia con il trascorrere dell'età.



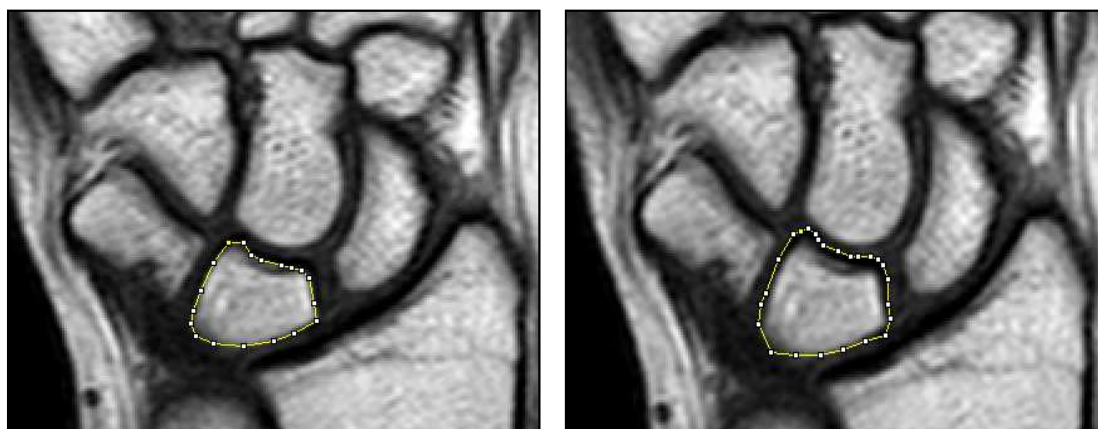
La suddetta descrizione anatomica su immagini a RM costituisce il presupposto per il razionale dello nostro progetto. Conducendo uno studio osservazionale retrospettivo, abbiamo introdotto un metodo innovativo per la stima dell'età, analizzando soggetti con un'età compresa tra i 12 e i 20 anni. Tenuto conto che all'età di 14 anni i nuclei di ossificazione del carpo sono tutti presenti, per poi accrescere millimetricamente e completarsi oltre la maggiore età (fino ai 20-24 anni secondo quanto riportato da testi di letteratura - Palastanga et. al 2007), ci si è proposti di analizzare lo sviluppo dei nuclei di ossificazione di tutte e 8 le ossa carpali, in rapporto all'età.

In accordo agli studi di Serinelli et al. (2015), il progressivo accrescimento dei nuclei di ossificazione carpali presenti in minori adolescenti è accompagnato, oltre che da una riduzione progressiva dello strato di cartilagine periossea, anche da una riduzione dello spazio lacunare formatosi tra il nucleo osseo e la cartilagine, spazio che viene riempito progressivamente dalla matrice ossea in accrescimento.

Lo scopo del nostro progetto è stato pertanto quello di realizzare un modello per la stima dell'età basandoci sul rapporto tra:

- l'area occupata dal nucleo di ossificazione (in inglese "Nucleus of ossification" - NO) e
- l'area totale derivante dal nucleo di ossificazione + lo spazio lacunare (interfaccia) compreso tra il nucleo stesso e la cartilagine periossea (in inglese "Surface of growth" – SG) (Fig. 19).

Figura 19 - In giallo area occupata dal nucleo di ossificazione (NO) dell'osso semilunare a sinistra, area totale di accrescimento osseo (SG) a destra.



Tale rapporto è stato eseguito per ogni osso del carpo. Nella sessione materiali e metodi verranno dettagliatamente riportate le singole fasi del lavoro condotto, che hanno portato, previa accurata analisi statistica, alla realizzazione di un modello per la stima dell'età.

## 4.2 - MATERIALI E METODI

Per la realizzazione dello studio sono state considerate immagini di RMN di mano sinistra, eseguite nel periodo 2012-2018c/o la SOD Radiologia Pediatrica e Specialistica di AOU - Ospedali Riuniti di Ancona, da soggetti di nazionalità italiana minori o da poco maggiorenni, con un range di età 12-20 anni.

Sono stati analizzati circa 100 soggetti, distribuiti in due gruppi in base alla strumentazione biomedica utilizzata per l'effettuazione della RMN. Tra questi, ai fini dell'indagine, ne sono stati selezionati 40 (21 femmine e 19 maschi), estrapolati dallo strumento a più alta risoluzione. Ovviamente i casi scelti riguardavano soggetti privi di patologie legate a un disturbo della crescita e/o manifestazioni di tipo osteodistrofico e/o disturbi di tipo endocrino, che avrebbero potuto inficiare il dato analitico.

Nello specifico le scansioni sono state effettuate utilizzando uno strumento a RMN aperta da 1,5T (Philips Achieva) con bobina di superficie da 4-canali, con paziente in posizione prona e braccio disteso. Sono state ottenute sequenze T2 pesate short-tau inversion recovery (STIR) in assiale, sagittale e coronale (TR/TE, 3000-4000/110; campo di vista, 150x180; spessore slice, 3mm; gap interslice, 0,3 mm; numero di eccitazioni, 2; matrice 320x256) e sequenze T1 pesate turbo spin-echo in assiale e coronale (TR/TE, 400-600/15-25; lunghezza del treno di eco, 10; campo di vista, 170x190; spessore slice, 3 mm; interslice gap, 0,3 mm; numero di eccitazioni, 2; matrice 320x320).

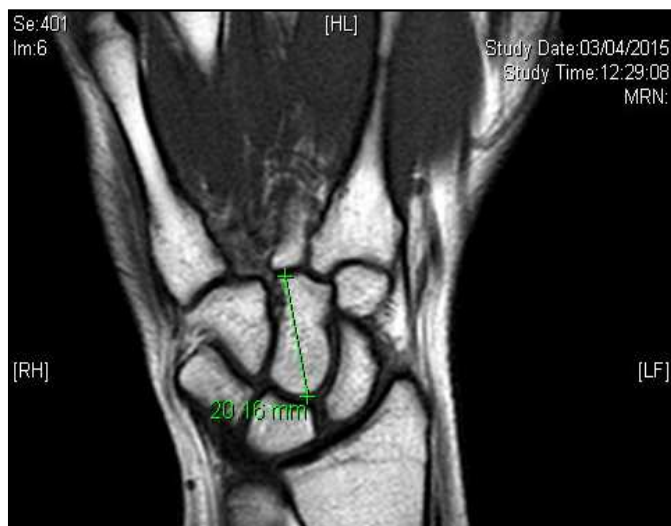
Attraverso l'ausilio di un medico specialista in radiologia in servizio presso la SOD della Radiologia di Ancona, è stato selezionato un piano frontale per ogni singolo osso del carpo<sup>3</sup> di ciascuna immagine RM; in particolare è stato captato il piano ove l'osso da esaminare risultava maggiormente rappresentato sotto il profilo dimensionale. Trattasi di estrapolazione facile e immediata per un radiologo che, scorrendo nella sequenza delle immagini riprodotte in una sequenza RM di mano, identifica il piano dove un

---

<sup>3</sup> Il carpo è composto da 8 ossa brevi disposte su due file, delle quali una prossimale ed una distale. Compongono la fila prossimale in senso lateromediale: scafoide o navicolare, semilunare, piramidale, pisiforme; compongono la fila distale in senso lateromediale: trapezio, trapezoide, capitato, uncinato.

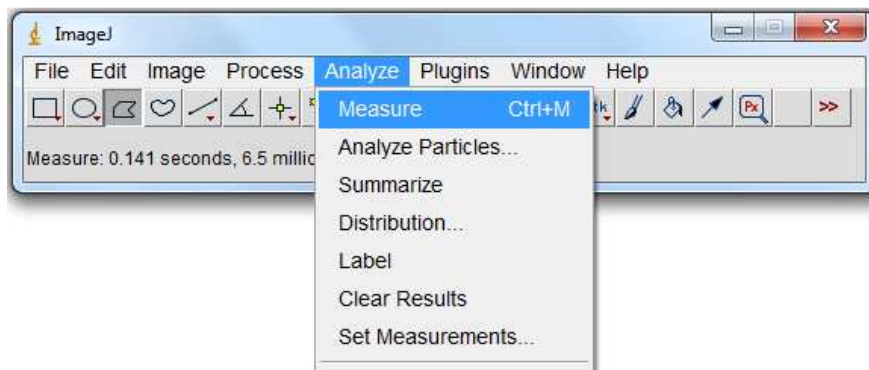
determinato elemento (osseo nel nostro caso) risulta maggiormente evidente, anche servendosi di un misuratore dello strumento in grado di rilevarne le lunghezze e i diametri (Fig. 20).

Figura 20 - Piano di RM ove l'osso capitato risulta maggiormente rappresentato di dimensioni. In verde è riportato il diametro massimo dell'osso espresso in mm, ricavato mediante misuratore appartenente al software dello strumento RM.



Successivamente l'immagine dell'osso è stata aperta e analizzata mediante il software ImageJ, un programma informatico di elaborazione digitale delle immagini rilasciato nel pubblico dominio, basato su Sun-Java e sviluppato dal National Institutes of Health degli Stati Uniti [109]. Attraverso la funzione "Selection" è stata dapprima selezionata l'area occupata esclusivamente dal nucleo di ossificazione (NO), successivamente l'area totale (SG) rappresentata dal NO e dalla lacuna ossea (o interfaccia osseo-cartilaginea), come rappresentato in Fig. 16. Le misurazioni delle aree sono state estratte mediante la funzione "Analyze – Measure" (Fig. 21).

Figura 21 – Rappresentazione della funzione Analyze – Measure del programma ImageJ



Detto procedimento è stato ripetuto per ciascuno osso carpale e i dati memorizzati per intero dal software, sono stati poi salvati in un file in formato excel.

Ottenute le aree “NO” e “SG” di ogni singolo osso, si è proceduto a calcolare il rapporto tra la somma di tutti i NO ( $NO_{tot}$ ) delle 8 ossa, e la somma di tutte le SG ( $SG_{tot}$ ) delle 8 ossa, come indicato a titolo esemplificativo nella formula seguente:

$$\frac{NO_{scafoide} + NO_{semilunare} + NO_{piramidale} + NO_{pisiforme} + NO_{trapezio} + NO_{trapezoide} + NO_{capitato} + NO_{uncinato}}{SG_{scafoide} + SG_{semilunare} + SG_{piramidale} + SG_{pisiforme} + SG_{trapezio} + SG_{trapezoide} + SG_{capitato} + SG_{uncinato}}$$

$$= NO_{tot}/SG_{tot}$$

Per comodità grafica e di lettura, il risultato ottenuto da tale rapporto ( $NO_{tot}/SG_{tot}$ ) viene indicato con l’acronimo **NOSG<sub>tot</sub>**. Detta procedura è stata ripetuta per ciascuno dei 40 soggetti selezionati.

Le misurazioni sono state ripetute dallo stesso operatore ed eseguite altresì da un secondo operatore (variabilità intra e inter-operatore).

### Analisi statistica

Lo studio è stato completato con l’analisi statistica effettuata mediante il programma statistico R [110].



La variabilità intra e inter-operatore è stata valutata utilizzando il coefficiente di correlazione Intra-classe (ICC).

Si è cercata una relazione di tipo lineare tra il  $NOSG_{tot}$  e l'età nota del soggetto, come riportato nella seguente equazione:

$$età = \alpha + \beta \cdot NOSG_{tot} + \gamma \cdot sex + \varepsilon$$

Dove  $sex=1$  se maschio, 0 se è femmina ed  $\varepsilon$  è l'errore casuale con distribuzione normale, media 0 e varianza  $\sigma^2$ . I parametri del modello,  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , sono stati stimati mediante il metodo dei minimi quadrati. La stima è stata considerata significativamente diversa da zero per una  $p\ value < 0,05$ .

### 4.3 - RISULTATI

Nella tabella 8 vengono riportati tutte le misurazioni e il calcolo dei NOSG, per ogni singolo osso e in totale, per ciascuno dei 40 soggetti reclutati.

Tabella 8 – Descrizione dei 40 casi di RM analizzati, con sesso, età al momento dell'esame, calcolo del NOSG per ciascun osso e il NOSG<sub>totale</sub>.

NUMERO CASO/SESSO	Età (aa+mesi)	NOSG scafoide	NOSG semilinare	NOSG piramidale	NOSG pisiforme	NOSG uncinato	NOSG capitato	NOSGtrapezoide	NOSG trapezio	NOSG tot
1/F	12 + 3	0,642774566	0,791252485	0,725221595	0,584134615	0,703680982	0,781765677	0,732254047	0,743273543	0,731702059
2/F	13	0,64469914	0,727391874	0,756660746	0,620611552	0,789765721	0,801030928	0,759860789	0,763459841	0,741388175
3/F	17	0,886210762	0,845156889	0,796161826	0,72181146	0,842965779	0,885606061	0,742243437	0,801012658	0,82685273
4/F	14 + 8	0,769538188	0,760314342	0,769556025	0,698275862	0,794992175	0,819086105	0,711876833	0,776439791	0,772377405
5/F	15 + 3	0,755174154	0,777244688	0,799380805	0,702078522	0,802065404	0,827488152	0,77593361	0,80952381	0,78706544
6/F	18 + 2	0,783545544	0,840094062	0,868138425	0,767727931	0,860432164	0,90974359	0,841013825	0,877772302	0,85081864
7/F	19 + 8	0,812230835	0,875388027	0,88871308	0,786552828	0,896454472	0,944556452	0,863348416	0,915926584	0,88232665
8/F	14 + 5	0,738595221	0,764356436	0,755301794	0,698974837	0,786190476	0,820186335	0,741656366	0,788700565	0,772951187
9/F	19 + 11	0,87695668	0,89433794	0,915867945	0,803237858	0,891240638	0,938717949	0,904880066	0,860541427	0,891210978
10/F	16 + 4	0,763855422	0,778625954	0,818953324	0,717117117	0,840713053	0,861583092	0,809479554	0,790871935	0,803808013
11/F	17 + 10	0,826148079	0,799463807	0,870485679	0,734197731	0,843023256	0,897899838	0,83615222	0,813200498	0,836774895
12/F	12 + 9	0,716049383	0,744698206	0,673716012	0,614107884	0,777360851	0,800425758	0,752155172	0,760124611	0,740813519
13/F	14 + 11	0,76460177	0,734110169	0,788744589	0,700137552	0,802331744	0,82038835	0,75257732	0,792960663	0,782175344
14/F	13 + 9	0,765231092	0,727323009	0,736064473	0,648514851	0,764302059	0,807976974	0,746534653	0,770800628	0,756920351
15/F	18 + 7	0,769230769	0,799070848	0,886661527	0,771663244	0,904366398	0,917744514	0,886859462	0,822984245	0,865029866
16/F	14 + 10	0,758227848	0,742075823	0,783187873	0,700589971	0,805801203	0,818447634	0,774828767	0,784693019	0,78157442
17/F	13 + 8	0,766085791	0,725774555	0,763196481	0,640897756	0,732441472	0,803957662	0,767106843	0,75592961	0,752260238
18/F	19 + 2	0,841211226	0,853051059	0,848073555	0,776579353	0,91033275	0,924966622	0,90141844	0,847911742	0,870992882
19/F	15 + 9	0,757562077	0,780470914	0,788648245	0,710794297	0,820485175	0,845010616	0,799818841	0,805838425	0,794313464
20/F	17 + 11	0,785365854	0,837822014	0,869175627	0,743777452	0,860962567	0,90822245	0,863425926	0,877409787	0,850501482
21/F	16 + 10	0,868788386	0,841160221	0,785788382	0,719038817	0,842824601	0,880348353	0,763679619	0,800507614	0,821552016
1/M	20 + 2	0,888801879	0,909809391	0,887089311	0,775913129	0,890960809	0,941422594	0,888074617	0,906997343	0,887394694
2/M	15 + 8	0,81689643	0,748328267	0,755223881	0,708591065	0,796747967	0,819009676	0,766966967	0,800227877	0,786237502
3/M	18	0,823959094	0,881920904	0,872116349	0,747118644	0,843478261	0,89125	0,865030675	0,83212033	0,848357547
4/M	13 + 11	0,706289308	0,78972332	0,774750227	0,643113772	0,78647464	0,791880781	0,722506394	0,782040105	0,757186008
5/M	15 + 7	0,792118789	0,722995361	0,797947402	0,703163017	0,80420397	0,81833713	0,79526356	0,800227877	0,785922154
6/M	20 + 5	0,865576284	0,849319728	0,919668473	0,833964864	0,895861148	0,946567651	0,897241993	0,866153464	0,884294201
7/M	13 + 3	0,767958951	0,681338028	0,77192825	0,630366492	0,785350966	0,791015625	0,750309023	0,737518911	0,752686394
8/M	17 + 2	0,773458445	0,796334012	0,790186125	0,719532554	0,851893096	0,883959044	0,791556728	0,818584071	0,814001502
9/M	13 + 1	0,756287944	0,742559524	0,778916061	0,639646279	0,773514851	0,790693293	0,757208525	0,729184926	0,751728217
10/M	18 + 7	0,821656051	0,834114889	0,871979099	0,763353116	0,862662747	0,916971106	0,865058088	0,86905461	0,858793235
11/M	13 + 10	0,784119107	0,715613383	0,767767768	0,640971489	0,747354497	0,798756799	0,786419753	0,732765298	0,75566029
12/M	19 + 5	0,89289012	0,865220759	0,885133114	0,766924565	0,834827145	0,930644617	0,848660011	0,874524715	0,874408618
13/M	20 + 7	0,91101465	0,917525773	0,872502379	0,777777778	0,892839981	0,946876044	0,861016949	0,854608181	0,888994759
14/M	19 + 7	0,834604106	0,889487871	0,883211679	0,76983435	0,884159483	0,935238784	0,856105611	0,891322662	0,876707217
15/M	14 + 2	0,762064343	0,748854962	0,781561462	0,667450059	0,795997418	0,80186239	0,711864407	0,792527822	0,767053631
16/M	12 + 8	0,749350274	0,750940557	0,745267353	0,614559387	0,77680798	0,787558685	0,735746983	0,700638711	0,739578681
17/M	16 + 2	0,771386968	0,7682084	0,754698318	0,712260808	0,838235294	0,859484148	0,776927604	0,784439686	0,794616826
18/M	15 + 6	0,804990758	0,757575758	0,772237197	0,708754209	0,796698523	0,813758389	0,762402089	0,783845279	0,782782634
19/M	16	0,782376502	0,753277712	0,77596266	0,709939148	0,837516513	0,841197822	0,783068783	0,804232804	0,791710206

I valori di ICC, considerando un Intervallo di Confidenza (IC) 95%, si sono mostrati elevati indicando una omogeneità sostanziale di misurazioni tra lo stesso osservatore e tra due osservatori diversi.

I risultati della regressione lineare sono sintetizzati nella tabella seguente

	stima	es	t	p-value
alfa	-22.9731	0.71173	-32.278	<0.001
gamma	0.23698	0.08877	2.669	0.0112
beta	48.42818	0.88041	55.007	<0.001

La stima dell'errore standard è risultata 0.28 anni. Il valore del coefficiente di determinazione della regressione è stato  $R^2 = 0.988$ , indicando un ottimo adattamento del modello ai dati.

L'equazione ottenuta da modello di regressione lineare potrà essere utilizzata come curva di calibrazione per determinare, una volta assegnato un valore di  $NOSG_{tot}$ , la stima dell'età.

#### **4.4 – DISCUSSIONI**

Nella pratica forense, c'è un crescente bisogno di accuratezza di metodi per la stima dell'età, specialmente nei casi di giovani individui privi di documenti identificativi anagrafici e senza una prova valida della loro data di nascita [72]. Secondo stime dell'UNICEF, circa 51 milioni di nascite non vengono registrate ogni anno nei paesi in via di sviluppo [111].

L'analisi mediante raggi X del distretto polso-mano sinistro è stata utilizzata per decenni e tuttora rappresenta un approccio "gold standard" per la stima dell'età di minori adolescenti fino al raggiungimento dei 18 anni, insieme ai metodi ortopantografici. Tuttavia l'esposizione a radiazioni ionizzanti, questione problematica ampiamente affrontata nei capitoli precedenti sotto il profilo giuridico ed etico, richiederebbe una giustificata motivazione (clinica) per ogni individuo, ancor più se minore. È stato stimato che la dose efficace per una Rx mano/polso è pari 0,003 mSv, dose che comporta un rischio di sviluppo

di cancro inquadrabile in 1 su 5.460.000 [112]. Anche se alcuni esperti ritengono che una siffatta esposizione sia sostanzialmente accettabile sotto il profilo del rischio clinico, altri sostengono che, allorchè eseguita per motivazioni diverse da quelle diagnostiche e/o terapeutiche, essa può risultare dannosa [113].

Il Comitato per i Diritti del Bambino ha dichiarato che la valutazione dell'età sul minore deve essere condotta in modo sicuro, evitando qualsiasi rischio di violazione dell'integrità fisica del bambino [114]. Secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (IAEA), l'utilizzo di radiazioni ionizzanti per scopi diversi da quelli della formulazione di una diagnosi e/o trattamento medico e/o ricerca biomedica, deve essere attentamente giustificato [115].

Orbene nel panorama scientifico internazionale non sono molti i lavori che hanno utilizzato la RMN, ancor più indagando i nuclei di ossificazione carpale, approntando un metodo che dia risultati analitici oggettivi (numerici) e quindi scongiurando ogni eventuale soggettiva valutazione. Il nostro scopo è stato quello di stimare l'età utilizzando la RMN analizzando i nuclei di accrescimento delle ossa carpali, in una fascia di età cruciale per la pratica forense (12-20). La RM applicata allo studio dell'accrescimento delle ossa del carpo in uno spazio comprensivo dell'interfaccia osseo-cartilaginea non solo risulta un metodo innovativo, ma glissa la questione dell'esposizione a radiazioni ionizzanti. Inoltre fornisce dettagli della regione del carpo che un esame radiografico non riesce ad evidenziare; grazie al potere di risoluzione di una RM, è possibile visualizzare il limite netto del nucleo di ossificazione in accrescimento, la loggia entro cui l'osso può espandersi, la cartilagine periossea che progressivamente diminuisce di spessore con l'avanzare dell'età fino a scomparire oltre i 20 anni. Trattasi di elementi ben distinguibili solamente con una RMN di 1,5 o 3 Tesla, o mediante esame TAC, ma per quest'ultima riemergerebbe la problematica *quaestio* dell'esposizione a radiazioni.

Relativamente all'utilizzazione della RMN, i limiti di questa indagine strumentale è la possibilità che si verifichino artefatti dovuti a micromovimenti del paziente in corso di procedura, tenuto conto che vi è una durata di qualche minuto e non di pochi istanti come

per una convenzionale radiografia, nonché alla possibile presenza di dispositivi metallici e/o pacemaker. Va altresì considerato che, oltre ad avere un costo leggermente superiore all’Rx, la RMN aperta specifica per la mano non è sempre a disposizione delle strutture aziendali piccole e periferiche (ai nostri tempi tuttavia vi sono diversi centri sanitari privati in espansione che hanno in dotazione i più moderni macchinari di diagnostica per immagine; centri nati anche in risposta alle esigenze dei cittadini che necessitano di sottoporsi ad esami strumentali in tempi brevi ma che non vi riescono per le lunghe liste di attesa degli ospedali pubblici).

I dati ricavati dal nostro studio sono sicuramente significativi. Dal calcolo dei  $NOSG_{tot}$  si è osservato un lieve aumento del rapporto nelle femmine rispetto ai maschi a parità di età, in accordo con la letteratura che dimostra come lo scheletro della mano matura più rapidamente nelle femmine. E’ risultata una buona riproducibilità di misurazioni tra diversi osservatori. I risultati ottenuti hanno consentito di realizzare un modello di regressione lineare, con una formula dalla quale si può risalire all’età del soggetto (maschile o femminile) una volta calcolato il  $NOSG_{tot}$ . Dal modello, risulta un errore standard contenuto, pari a 0.28 anni.

A fronte dei suddetti buoni risultati ottenuti, allo stato attuale l’imperativa raccomandazione è di testare la metodica su una più ampia casistica e su diverse popolazioni. In questa fase preliminare, utile sarebbe un suo utilizzo in combinazione con metodi già noti; combinazione che, nell’applicazione forense, deve essere comunque presa sempre in considerazione poichè nessun metodo esistente è assolutamente preciso, in relazione a fattori importanti quali la variabilità dello maturazione scheletrica, che cambia tra gli individui della stessa età cronologica in base alle caratteristiche genetiche e alle condizioni ambientali, nonché l’errore commesso dall’operatore in relazione alla propria esperienza.

## 4.5 - CONCLUSIONI

La RMN è una metodica di diagnostica per immagine che non utilizza radiazioni ionizzanti e, grazie alla sua alta risoluzione di contrasto, fornisce maggiori dettagli anatomico-strumentali rispetto all’Rx. Il nostro studio ha preso in considerazione l’accrescimento dei nuclei di ossificazione delle ossa carpali fino ed oltre la maggiore età, prima del loro completamento. Lo scopo del nostro progetto di ricerca è stato quello di poter ricavare un metodo per la stima dell’età mediante utilizzo di RMN, dopo aver ottenuto risultati analitici oggettivi e riproducibili. È stato elaborato un modello di regressione lineare che in futuro, dopo aver ovviamente ampliato lo studio con casistiche più ampie e su diversi gruppi etnici, può assumere un ruolo importante nella determinazione dell’età. La sfida nell’ambito dell’*AgeEstimation Project* sarà anche quella di impiegare in combinazione per la stima dell’età a scopi forensi diverse indagini che prevedono l’utilizzo di RMN che, negli ultimi tempi, si sta affermando sempre più con maggior certezze e riconoscimenti nel panorama scientifico internazionale.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A, Kaatsch HJ, Knell B, Ramsthaler F, Reisinger W, Riepert T, Ritz-Timme S, Rösing FW, Rötzscher K, Geserick G. Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med.* 2008 Nov;122(6):457-60.
- [2] <http://abfo.org/wp-content/uploads/2017/08/ABFO-DAA-Standards-and-Guidelines-2017.pdf>.
- [3] Schmeling A, Garamendi PM, Prieto JL, Landa I. Forensic Age Estimation in Unaccompanied Minors and Young Living Adults, In: D.N. Vieira (Ed.) *Forensic Medicine- From Old Problems to New Challenges.* inTech 2011:77–120 (Chapter 5).
- [4] De Angelis, Gibelli D, Fabbri P, Cattaneo C. Dental Age Estimation Helps Create a New Identity. *Am J Forensic Med Pathol.* 2015 Sep;36(3):219-20.
- [5] R. Cameriere. AgeEstimation project: Cameriere’s method for age estimation. 2008 Eum Edizioni Università di Macerata.
- [6] Pyle I and Sontag LW (1943). Variability in onset of ossification in epiphyses and short bones of extremities, *Am. J. Roentgenol. Rad. Ther.*, 49: 795.
- [7] Flecker H. Time of appearance and fusion of ossification centres as observed by roentgenographic methods. *Am J Roentgenol.* 1942;47:97–159.
- [8] Ubelaker DH. The estimation of age at death from immature human bone. In: Isçan MY, editor. *Age Markers in the Human Skeleton.* Springfield, IL: Charles C Thomas; 1989.
- [9] Scheuer L, Black S (2000). *Developmental juvenile osteology.* Academic, London.
- [10] McKern TW, T. D. Stewart TD. Skeletal Age Changes in Young American Males, Analyzed from the Standpoint of Age Identification. Technical Report EP-45, Environmental Protection Research Division, Quartermaster Research and Development Center, U.S. Army, Natick, 1957. VIII 179 pp., 87 figs., 52 tables. *American Antiquity*, 24(2), 198-199.
- [11] *Anatomia del Gray 1*, Quarta edizione italiana condotta sulla trentottesima edizione inglese, a cura di Peter L.Williams, tradotta da Rodolfo Amprino e Gastone Marotti,

Zanichelli Editore, 2001, Cap 6 Apparato Scheletrico, Ossificazione intracartilaginea, sezione 644.

[12] Anatomia del Gray 1, Quarta edizione italiana condotta sulla trentottesima edizione inglese, a cura di Peter L. Williams, tradotta da Rodolfo Amprino e Gastone Marotti, Zanichelli Editore, 2001, Cap 6 Apparato Scheletrico, Ossificazione, sezione 966.

[13] Garn SM, Rohmann CG. Variability in the order of ossification of the bony centers of the hand and wrist. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1960;18:219-30.

[14] Wingerd J., Peritz E. and Sproul A. Race and stature differences in the skeletal maturation of the hand and wrist, *Annals of Human Biology*, 1, 2, (201), (1974).

[15] Nigel Palastanga, Derek Field, Roger Soames. Anatomia del movimento umano. Struttura e funzione. Quinta Edizione. Curatore: S. Boccardi, G. Fraschini. Editore: Elsevier, 2007, Cap 2 Arto Superiore – Ossa, p 62.

[16] Poltronieri F. User protocol for evaluation of qualitative test performance; Proposed guideline. *Riv Med Lab - JLM*, Vol. 2, S.1, 2001.

[17] A. Schmeling, C. Grandmami, A. Fuhrmann, H.J. Kaatsch, B. Knell, F. Ramsthaler, W. Reisinger, T. Riepert, S. Ritz-Timme, F.W. Rosing, K. Rotzsch, G. Geserick, Criteria for age estimation in living individual, *Int. J. Legal Med.* 122 (2008), 457-460.

[18] A. Schmeling, G. Geserick, W. Reisinger, A. Olze, Age estimation, *Forensic Sci. Int.* 165 (2007), 178-181.

[19] E. Cunha, E. Bacchio, L. Martrille, E Ramsthaler, J. Prieto, Y. Schuliar, N. Lynnerup, C. Cattaneo, the problem of aging human remains and living individual: a review, *Forensic Sci. Int.* 193 (2009) 1-13.

[20] M. Kellinghaus, R. Schulz, V. Vieth, S. Schmidt, A. Schmeling, Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography *Int. J. Legai Med.* 124 (2010), 149-154.



- [21] E. Cunha, E. Baccino, L. Martrille, E Ramsthaller, J. Prieto, Y. Schuliar, N. Lynnerup, C. Cattaneo, The problem of aging human remains and living individuals: a review, *Forensic Sci. Int.* 193 (2009) 1-13.
- [22] Greulich WW, Pyle SI. *Radiographic Atlas of Skeletal Development of Hand and Wrist.* Stanford: Stanford University Press 1959.
- [23] J. M. Tanner, R.H. Whitehouse, WA. Marshall, M.J.R. Healy, H. Goldstein, *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (EW2 Method),* Academic Press, London, 1975.
- [24] A. E Roche, C. Chumlea, D. Thissen, *Assessing the Skeletal Maturity of the Hand-Wrist: FELS Method,* Charles C. Thomas, Springfield, IL, 1988.
- [25] Demirjian A., Goldstein H., Tanner M. A new system of dental age assessment, *Hum. Biol* (1973), 45:2.
- [26] Liversidge HM, Molleson TI Developing permanent tooth length as an estimate of age, *J. Forensic Sci.* 44 (1999), 917–920.
- [27] Mincer HH, Harris EF, Berryman HE The ABFO . Study of third molar development and its use as an estimator of chronological age *J Forensic Sci* (1993) 38:379-390.
- [28] Cameriere R, Ferrante L, De Angelis D, Scarpino F, Galli F. The comparison between measurement of open apices of third molars and Demirjian stage to test chronological age of over 18 year old in living subject. *Int J Legal Med* (2008) 122:493-497.
- [29] Thevissen PW, Fieuws S, Willems G. Third molar development: measurements versus scores as age predictors, *Arch. Oral Biol.* 56 (10) (2011) 1035–1040.
- [30] C. Cattaneo, M. Grandi. *Antropologia e Odontologia Forense. Guida allo studio dei resti umani, testo atlante.* Monduzzi Editore (2004), pp 163-174.
- [31] S Brooks, JM Suchey 1990. Skeletal age determination based on the os pubis: a comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods - *Human evolution*, 5, 3 pp 227-238.
- [32] Garvin HM, Passalacqua NV. Current Practices by forensic anthropologist in adult skeletal age estimation. *J Forensic Sci* (2012),57(2):427-433.

- [33] Lovejoy CO, Meindl RS, Pryzbeck TR, Mensforth RP. Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: a new method for the determination of adult skeletal age at death . *American Journal of Physical Anthropology* ( 1985 )68:15-28.
- [34] Işcan MY, Loth SR, Wright RK. Metamorphosis at the sternal rib end: a new method to estimate age at death in white males . *American Journal of Physical Anthropology* (1984), 65:147-156.
- [35] Baccino E, Cuesta Tormo MC, Souaiby N, et al. Evaluation of the Işcan method for age determination from the sternal end of the fourth rib on a French forensic male sample (n = 131) and a Spanish forensic female sample (n = 168): results and propositions of modifications. *Indopacific Association of Legal Medicine and Forensic Sciences*, Melbourne, Australia, September 2001.
- [36] Acsádi G, Nemeskéri J. History of human life, span and mortality, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970.
- [37] Gustafson G. Age determination of teeth. *J Am Dent Assoc* 1950,41:45–54.
- [38] Bodecker CF. *Fundamentals of Dental Histology and Embryology*, New York, MacMillan Co, 1926,p. 94-97.
- [39] <https://www.agestimationproject.com/>
- [40] Cameriere R, Ferrante L, Mirtella D, Cingolani M. Carpals and epiphyses of radius and ulna as age indicators. *Int J Leg Med* 120 (2006): 143-146.
- [41] Cameriere R, Ferrante L, Ermenc B, Mirtella D, Štrus K. Age estimation using carpals: Study of a Slovenian sample to test Cameriere's method *For Sci International* 174 (2008):178-181.
- [42] El-Bakary A, Attalla SA, Hammad SM, El-Ashry r, De Luca S, ferrante L, Cameriere R. Age estimation in Egyptian children by Measurements of carpal and epiphyses of the ulna and radius. *J Forensic Radiol Imag J* (2014): 121-125.
- [43] De Luca S, Maingiulli T, Merelli V, Conforti F, Velandia Palacio LA, Agostini S, Spinasi E, Cameriere R. A new formula for assessing skeletal age in growing infants and children

by measuring carpals and epiphyses of radio and ulna. *J For Legal Med* 39 (2016):109-116.

[44] Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. Precision and Reliability of Pulp/Tooth Area Ratio (RA) of Second Molar as Indicator of Adult Age. *J Forensic.Sci*, 2004, 49(6):1-5.

[45] Cameriere R, Ferrante L, Belcastro M G, Bonfiglioli B, Rastelli E, Cingolani M. Age estimation by pulp/tooth ratio in canine by peri-apical X rays. *J Forensic Scie* 52 (2007)(1): 1-5.

[46] Cameriere R, Cuhnha E, Sassaroli E, Nuzzolese E, Ferrante L. Age estimation by pulp/tooth area ratio in canines: study of a Portuguese sample to test Cameriere's method. *For Sc International* 193 (2009): 128.e1-128.e6.

[47] Cameriere R, De Luca S, Egidi N, Bacaloni M, Maponi P, Ferrante L, Cingolani M. Automatic age estimation in adults by analysis of canine pulp/tooth ratio: preliminary results. *Journal of Forensic Radiology and Imaging* (2015) 3: 61-66.

[48] Cameriere R, Ferrante L, De Angelis D, Scarpino F, Galli F. The comparison between measurement of open apices of third molars and Demirjian stage to test chronological age of over 18 year old in living subject. *Int J Legal Med* (2008) 122: 493-497.

[49] De Luca S, Biagi R, Begnoni G, Farronato G, Cingolani M, Merelli V, Ferrante L, Cameriere R Accuracy of Cameriere's cut-off value for third molar assessing 18 years of age. *Forensic Sci Int* 235(2014)102.e1-102.e6.

[50] Deitos AR, Costa C, Michel-Crosato E, Galić I, Cameriere R, Haye Biazevic MG Age estimation among Brazilians: younger or older than 18? *J Forensic Leg Med* 33 (2015):111-115.

[51] Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *Int J Legal Med* (2006)120:49-52.

[52] Cameriere R, De Angelis D, Ferrante L, Scarpino F, Cingolani M. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth: a European formula. *Int J Legal Med*. 2007 Nov;121(6):449-53.

- [53] Cameriere R, Giuliodori A, Zampi M, Galić I, Cingolani M, Pagliara F, Ferrante L. Age estimation in children and young adolescents for forensic purposes using fourth cervical vertebra (C4). *Int J Legal Med* (2015), 129:347-355.
- [54] Radiographic analysis of epiphyseal fusion at knee joint to assess likelihood of having attained 18 years of age. Cameriere R, Cingolani M, Giuliodori A, De Luca S, Ferrante L. *Int J Legal Med*. 2012 Nov;126(6):889-99.
- [55] <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2017/04/21/17G00062/sg>.
- [56] <http://www.lavoro.gov.it>.
- [57] M. Letizia Galati Lucia Randazzo, *La messa alla prova nel processo penale*, Milano Giuffrè, 2015.
- [58] AUGUSTUS J, A report of the Labors of John Augustus for the last en years in aid of the unfortunate, 1825, in H. ABADINSKY, *Probation and Parole*.
- [59] Cassazione penale, sez. V, 12/10/2016, n. 48288 in *Diritto & Giustizia* 2016, 17 novembre.
- [60] A. MARANDOLA, *La messa alla prova dell'imputato adulto: ombre e luci di un nuovo rito speciale per una diversa politica criminale*, in *Dir. pen. proc.*, 2014.
- [61] [https://giustizia.it/resources/cms/documents/quindicinale\\_15.07.2018.pdf](https://giustizia.it/resources/cms/documents/quindicinale_15.07.2018.pdf).
- [62] I NUMERI pensati – *La recidiva nei percorsi penali dei minori autori di reato* – Quaderni dell'Osservatorio sulla devianza minorile in Europa, Gangemi Editore, 2013.
- [63] [http://www.gazzettaufficiale.it/atto/stampa/serie\\_generale/originario](http://www.gazzettaufficiale.it/atto/stampa/serie_generale/originario).
- [64] [www.easo.europa.eu](http://www.easo.europa.eu).
- [65] A.Aynsley –Green, T.J. Cole, H. Crawley, N. Lessof, L.R. Boag, R.M.M. Wallace: “Medical, statistical, ethical and human rights considerations in the assessment of age in children and young people subject to immigration control”, *British Medical Bulletin Advance Access*, 14.5.2012.
- [66] <http://www.refworld.org/docid/4ff535f52.html>.
- [67] <http://www2.ohchr.org/english/bodies/crc/comments.htm>.

- [68] Mansour H, Fuhrmann A, Paradowski I, van Well EJ, Püschel K. The role of forensic medicine and forensic dentistry in estimating the chronological age of living individuals in Hamburg, Germany. *Int J Legal Med*. 2017 Mar;131(2):593-601.
- [69] Separated Children in Europe Programme (2011). Thematic group on age assessment-review of current laws, policies and practices relating to age assessment in sixteen European countries. <http://www.scepnetwork.org/images/17/166.pdf>.
- [70] Cunha E, Baccino E, Martrille L, Ramsthaler F, Prieto J, Schuliar Y, Lynnerup N, Cattaneo C. The problem of aging human remains and living individuals: a review. *Forensic Sci Int*. 2009 Dec 15;193(1-3):1-13.
- [71] *Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc.*, 509 U.S. 579 (1993).
- [72] Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Scütz HW, Kaatsch H-J, Borrman HIM. Age estimation: the state of art in relation to the specific demands of forensic practice. *Int J Legal Med* 2000;113:129-136.
- [73] Fineschi V. Metodologia peritale: la tecnologia dell'umiltà di offrire unicamente evidenze qualitative. *Riv It Med Leg* 2010;4-5.
- [74] EURATOM (2010) Draft Euratom basic safety standards directive. [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation\\_protection/doc/art31/](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/art31/).
- [75] IAEA (2011) Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards—Interim Edition. Vienna. [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms\\_171036.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_171036.pdf)
- [76] Jurik AG, Jensen LC, Hansen J (1996). Radiation dose by spiral CT and conventional tomography of the sternoclavicular joints and the manubrium sterni. *Skeletal Radiol* 25: 467-470.
- [77] Hillewig E, De Tobel J, Cuche O, Vandemaele P, Piette M, Verstraete K (2011). Magnetic resonance imaging of the medial extremity of the clavicle in forensic bone age determination:a new four-minute approach. *Eur Radiol* 21: 757-767.

- [78] Ramsthaler F, Proschek P, Betz W, Verhoff MA (2009) How reliable are the risk estimates for X-ray examinations in forensic age estimations? A safety update. *Int J Legal Med* 123: 199-204.
- [79] Kastler B, Vetter D, Patay Z, Germain P (2006). *Comprendre l'IRM. Manuel d'autoapprentissage*. Paris: Masson.
- [80] Schmidt S, Mühler M, Schmeling A, Reisinger W, Schulz R (2007). Magnetic resonance imaging of the clavicular ossification. *Int J Legal Med* 121:321–324.
- [81] Hillewig E., De Tobel J., Cuhe O., et al: Magnetic resonance imaging of the medial extremity of the clavicle in forensic bone age determination: a new four-minute approach. *Eur. Radiol.* 2011; 21: pp. 757-767.
- [82] Hillewig E, Degroote J, Van der Paelt T, Visscher A, Vandemaele P, Lutin B, D'Hooghe L, Vandriessche V, Piette M, Verstraete K (2013). Magnetic resonance imaging of the sternal extremity of the clavicle in forensic age estimation: towards more sound age estimates. *Int J Legal Med* 127: 677-689.
- [83] Kreitner KF, Schweden FJ, Riepert T, Nafe B, Thelen M (1998) Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol* 8: 1116-1122.
- [84] Vieth V, Schulz R, Brinkmeier P, Dvorak J, Schmeling A (2014). Age estimation in U-20 football players using 3.0 tesla MRI of the clavicle. *Forensic Sci Int* 241:118–122.
- [85] Schmidt S, Ottow C, Pfeiffer H, Heindel W, Vieth V, Schmeling A, Schulz R. Magnetic resonance imaging-based evaluation of ossification of the medial clavicular epiphysis in forensic age assessment. *Int J Legal Med.* 2017 Nov;131(6):1665-1673.
- [86] Saint-Martin P, Rérolle C, Dedouit F, Bouilleau L, Rousseau H, Rougé D, Telmon N (2013). Age estimation by magnetic resonance imaging of the distal tibial epiphysis and the calcaneum. *Int J Legal Med* 127:1023–1030.
- [87] Jopp E, Schröder I, Maas R, Adam G, Püschel K (2010). Proximale tibia epiphyse im magnet resonanztomogramm. Neue Möglichkeit zur Altersbestimmung bei Lebenden? *Rechtsmedizin* 20: 464-468.

- [88] Dedouit F, Auriol J, Rousseau H, Rougé D, Crubézy E, Telmon N (2012). Age assessment by magnetic resonance imaging of the knee: A preliminary study. *Forensic Sci Int* 217: 232.e1232.e7.
- [89] Krämer, J.A., Schmidt, S., Jürgens, KU. et al. (2014). The use of magnetic resonance imaging to examine ossification of the proximal tibial epiphysis for forensic age estimation in living individuals, *Forensic Sci Med Pathol* 10: 306–313.
- [90] Ekizoglu O, Hocaoglu E , Inci E , Ozgur Can I , Aksoy S , Kazimoglu C, (2016). Forensic age estimation via 3-T magnetic resonance imaging of ossification of the proximal tibial and distal femoral epiphyses: Use of a T2-weighted fast spin-echo technique , *Forensic Science International* 260 102.e1–102.e7.
- [91] Ottow C, Schulz R, Pfeiffer H, Heindel W, Schmeling A, Vieth V. Forensic age estimation by magnetic resonance imaging of the knee: the definite relevance in bony fusion of the distal femoral- and the proximal tibial epiphyses using closest-to-bone T1 TSE sequence. *Eur Radiol.* 2017 Dec;27(12):5041-5048.
- [92] Vieth V, Schulz R, Heindel W, Pfeiffer H, Buerke B, Schmeling A, Ottow C. Forensic age assessment by 3.0T MRI of the knee: proposal of a new MRI classification of ossification stages. *Eur Radiol.* 2018 Aug;28(8):3255-3262.
- [93] Dvorak J, George J, Junge A, Hodler J (2007a). Age determination by magnetic resonance imaging of the wrist in adolescent male football players. *Br J Sports Med* 41: 45-52.
- [94] Dvorak J, George J, Junge A, Hodler J (2007b). Application of MRI of the wrist for age determination in international U-17 soccer competition. *Br J Sports Med* 41: 497-500.
- [95] Dvorak J (2009). Detecting over-age players using wrist MRI: science partnering with sport to ensure fair play. *Br J Sports Med* 43: 884-885.
- [96] George J, Nagendran J, Azmi K (2012). Comparison study of growth plate fusion using MRI versus plain radiographs as used in age determination for exclusion of overaged football players. *Br J Sports Med* 46: 273-278.

- [97] Terada Y, Kono S, Tamada D, Uchiumi T, Kose K, Miyagi R, Yamabe E, Yoshioka H (2013). Skeletal age assessment in children using an open compact MRI system. *Magn Reson Med* 69: 1697-1702.
- [98] Schmidt S, Vieth V, Timme M, Junge A, Dvorak J, Schmeling A (2014). Examination of ossification of the distal radial epiphysis using magnetic resonance imaging. New insights for age estimation in young footballers in FIFA tournaments. *Sci Justice* 55:139–144.
- [99] Tomei E, Sartori A, Nissman D, Al Ansari N, Battisti S, Rubini A, Stagnitti A, Martino M, Marini M, Barbato E, Semelka RC (2014). Value of MRI of the hand and the wrist in evaluation of bone age: preliminary results. *J Magn Reson Imaging* 39(5):1198–1205.
- [100] Stern D, Ebner T, Bischof H, Grassegger S, Ehammer T, Urschler M (2014). Fully automatic bone age estimation from left hand MR images. *Med Image Comput Comput Assist Interv* 17:220-7.
- [101] Thodberg HH, Kreiborg S, Juul A, Pedersen KD. The BoneXpert method for automated determination of skeletal maturity. *IEEE Trans Med Imaging*. 2009 Jan;28(1):52-66.
- [102] Urschler M, Grassegger S, Štern D. (2015). What automated age estimation of hand and wrist MRI data tells us about skeletal maturation in male adolescents. *Ann Hum Biol.* 4:358-67.
- [103] Serinelli S, Panebianco V, Martino M, Battisti S, Rodacki K, Marinelli E, Zaccagna F, Semelka RC, Stern D. (2015). Accuracy of MRI skeletal age estimation for subjects 12-19. Potential use for subjects of unknown age. *Int J Legal Med.*3:609-17.
- [104] Tomei E, Battisti S, Martino M, Nissman D, Semelka RC (2014). *Text-atlas of skeletal age determination: MRI of the hand and wrist in children.* Wiley-Blackwell, Hoboken.



- [105] Serin J, Rérolle C, Pucheux J, Dedouit F, Telmon N, Savall F, Saint-Martin P (2016). Contribution of magnetic resonance imaging of the wrist and hand to forensic age assessment *Int J Legal Med.* 4:1121-8.
- [106] Timme M, Ottow C, Schulz R, Pfeiffer H, Heindel W, V. Vieth, Schmeling A, Schmidt S (2017). Magnetic resonance imaging of the distal radial epiphysis: a new criterion of maturity for determining whether the age of 18 has been completed? *Int J Leg Med* March 2:579-84.
- [107] Urschler M, Krauskopf A, Widek T, Sorantin E, Ehammer T, Borkenstein M, Yen K, Scheurer E (2016). Applicability of Greulich-Pyle and Tanner-Whitehouse grading methods to MRI when assessing hand bone age in forensic age estimation: A pilot study. *Forensic Sci Int.* 266:281-288.
- [108] Azadeh Hojreh, Jutta Gamper, Maria T. Schmook, Michael Weber, Daniela Prayer, Christian J. Herold, Iris-Melanie Noebauer-Huhmann. Hand MRI and the Greulich-Pyle atlas in skeletal age estimation in adolescents. *Skeletal Radiol.* 2018; 47(7): 963–971.
- [109] Collins TJ, ImageJ for microscopy in *BioTechniques*, vol. 43, 1 Suppl, luglio 2007, pp. 25–30.
- [110] R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- [111] UNICEF (2007). Progress for children—a world fit for children statistical review. United Nations Children’s Fund, New York.
- [112] Cross TM, Smart RC, Thomson JEM (2003). Exposure to diagnostic ionizing radiation in sports medicine: assessing and monitoring the risk. *Clin J Sport Med* 13(3):164–170.
- [113] Eikvil L, Kvaal SI, Teigland A, Haugen M, Grøgaard J (2012). Age estimation in youths and young adults. A summary of the needs for methodological research and development. Publication number Samba/52/12. Available at [http://publications.nr.no/1355995517/Age\\_estimation\\_methods-Eikvil.pdf](http://publications.nr.no/1355995517/Age_estimation_methods-Eikvil.pdf).

[114] United Nations—Committee on the rights of the child (2005). General comment no 6—treatment of unaccompanied and separated children outside their country of origin. <http://www2.ohchr.org/english/bodies/crc/docs/GC6.pdf>.

[115] IAEA (2011). Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards-Interim Edition. Vienna.

[http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms\\_171036.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_171036.pdf).