

MISCELLANEA INGV

2001 - 2021: Vent'anni di ricerche sulle
"Ciampate del diavolo".
Dalla leggenda alla realtà scientifica



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

64

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)
Mario CASTELLANO (mario.castellano@ingv.it)
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

Redazione

Francesca DI STEFANO - Coordinatore
Rossella CELI
Barbara ANGIONI
Massimiliano CASCONI
Patrizia PANTANI
Tel. +39 06 51860068
redazione@ingv.it

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale
di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

MISCELLANEA INGV

2001 - 2021: Vent'anni di ricerche sulle "Ciampate del diavolo". Dalla leggenda alla realtà scientifica

Editors: Paolo Mietto¹, Adolfo Panarello² e Mauro Antonio Di Vito³

¹Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze

²Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale, Dipartimento di Scienze Umane, Sociali e della Salute, Laboratorio di Ricerche Storiche e Archeologiche dell'Antichità

³INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano

Accettato 13 giugno 2021 | Accepted 13 June 2021

Come citare | *How to cite* Mietto P., Panarello A., Di Vito M.A. (Eds.), (2022). 2001-2021: Vent'anni di ricerche sulle "Ciampate del diavolo". Dalla leggenda alla realtà scientifica. Misc. INGV, 64: 1-248, <https://doi.org/10.13127/misc/64>

In copertina | Ultimo tratto della Pista A delle "Ciampate del diavolo" | Cover Last section of Trackway A of the "Devils' Trails"

Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI GEOSCIENZE



Dipartimento di Scienze Umane, Sociali e della Salute



Gli *Editors* desiderano ringraziare Francesca Di Stefano e Barbara Angioni per i preziosi consigli redazionali e per la puntualità e precisione durante il complesso *iter* editoriale e di *desktop/publishing* che hanno reso possibile la pubblicazione del presente volume e dei relativi Supplementi.

INDICE

Presentazione Carlo Doglioni	7
Prefazione Mario Pagano	8
Introduzione Paolo Mietto	9
Abstract	11
Il valore dell'Icnologia umana Adolfo Panarello https://doi.org/10.13127/misc/64/1	13
Storia della scoperta e cronistoria delle ricerche Paolo Mietto e Adolfo Panarello https://doi.org/10.13127/misc/64/2	19
Riscontri archivistici sull'origine del toponimo "Ciampate del diavolo" Marco De Angelis https://doi.org/10.13127/misc/64/3	29
Una prima datazione lichenometrica per la determinazione dell'epoca di riesposizione del paleostrato impresso Adolfo Panarello, Giuseppe Pandolfo, Paolo Mietto https://doi.org/10.13127/misc/64/4	33
Il geosito delle "Ciampate del diavolo" Mauro Antonio Di Vito https://doi.org/10.13127/misc/64/5	49
Tora e Picilli. Appunti di geografia storica Gennaro Farinaro https://doi.org/10.13127/misc/64/6	57
Uomini e fauna a Foresta: il contesto paleoambientale Maria Rita Palombo https://doi.org/10.13127/misc/64/7	69
Osservazioni preliminari sulla frequentazione umana preistorica dell'areale del Roccamonfina Italo Biddittu e Adolfo Panarello https://doi.org/10.13127/misc/64/8	101

Rilevare, analizzare e interpretare le orme umane fossili	107
Adolfo Panarello https://doi.org/10.13127/misc/64/9	
L'icnosito della località "Foresta" di Tora e Picilli e le impronte umane fossili	123
Adolfo Panarello, Gennaro Farinaro, Paolo Mietto https://doi.org/10.13127/misc/64/10	
Il tocco del "diavolo": un'istantanea fotografica sulla preistoria	165
Adolfo Panarello, Luigi Mazzardo, Paolo Mietto https://doi.org/10.13127/misc/64/11	
Il sentiero più antico del mondo	177
Adolfo Panarello e Paolo Mietto https://doi.org/10.13127/misc/64/12	
Osservazioni sui meccanismi di locomozione dell'autore della "Pista A" delle "Ciampate del diavolo"	195
Alessandro Mondanaro, Adolfo Panarello, Maria Modafferi, Marina Melchionna, Carmela Serio, Francesco Carotenuto, Stefano Tavani, Paolo Mietto, Pasquale Raia https://doi.org/10.13127/misc/64/13	
Segni umani recenti sulla pendice delle orme preistoriche	203
Paolo Mietto e Adolfo Panarello https://doi.org/10.13127/misc/64/14	
Una sfida al "diavolo": il problema della conservazione e della valorizzazione	225
Adolfo Panarello, Gennaro Farinaro, Paolo Mietto https://doi.org/10.13127/misc/64/15	
Conclusioni	235
Paolo Mietto	
Ringraziamenti	236
APPENDICE: Elenco delle pubblicazioni dell'Équipe che ha in studio il sito delle "Ciampate del diavolo"	239

Rilevare, analizzare e interpretare le orme umane fossili

Adolfo Panarello

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale, Dipartimento di Scienze Umane, Sociali e della Salute, Laboratorio di Ricerche Storiche e Archeologiche dell'Antichità

Keywords "Ciampate del diavolo", Impronte umane; Morfometria; Analisi di icnodati | "Devil's Trails"; Human footprints; Morphometrics; Ichnodata analysis

Abstract

Il potere delle impronte di registrare e descrivere la complessità dei movimenti e della struttura corporea degli esseri viventi è ben noto. Le tecniche di rilevamento, analisi e interpretazione bidimensionale e tridimensionale dei dati icnologici sono sempre più numerose e complesse, ma non si sono ancora svincolate del tutto dalla loro dipendenza da una varietà di convenzioni, diverse fra loro, che possono influenzare il loro livello di attendibilità. Particolarmente interessanti per i paleoantropologi sono le impronte fossili di ominini, che sono estremamente rare ma hanno il potere di fornire preziose conoscenze sui nostri antenati della preistoria, sulla loro struttura corporea, sul loro comportamento, sull'ambiente in cui vivevano. In questo contributo, si passano in rassegna le principali tecniche di analisi finora conosciute e si illustrano le convenzioni scelte e applicate allo studio delle "Ciampate del diavolo", alla luce delle particolari caratteristiche del sito paleontologico che le conserva.

The power of footprints to record and pass on the complexity of movements and body structure of living beings is well known. Techniques for two- and three-dimensional survey, analysis, and interpretation of ichnological data are becoming increasingly numerous and complex, but they have not yet lost their dependence on many different conventions and their various degree of interpretation. Particularly interesting for palaeoanthropologists are hominin fossil footprints, which are extremely rare but have the power to give precious knowledge about our ancient relatives, their body structure, their behaviour, the environment in which they lived. In this paper, we review the main analysis techniques known to date and we show the conventions applied to the study of the "Ciampate del diavolo" in the light of the particular characteristics of the palaeontological site preserving them.

Un esame icnologico obiettivo ed esaustivo di orme umane fossili dovrebbe tener conto di molti fattori (ambientali, tafonomici, cronologici, morfologici, biologici, anatomici, etc.), ma quasi mai si dispone di tutti i dati utili per questo fine, soprattutto quando le evidenze da esaminare appartengono a un'alta antichità.

Le metodologie di analisi delle potenziali icniti umane non sono molto diverse da quelle impiegate per i dinosauri e le altre varietà di paleofauna: bisogna prima accertare che le depressioni nel terreno siano effettivamente delle orme e poi analizzarne la morfostruttura in vista della loro attribuzione a uno specifico *trackmaker* umano.

Si pensa che sia un errore comune considerare e analizzare le singole orme e gli schemi dell'andatura umana come se il problema fosse solo geometrico e come se le orme fossero ubicate solo e sempre su superfici pianeggianti e in grado di conservare ogni dettaglio del piede. In realtà, com'è stato più volte riscontrato, anche sperimentalmente [D'Août et al., 2010], non si possono analizzare e interpretare correttamente e in modo completamente obiettivo le orme fossili, se non si tiene pienamente conto del fatto che esse sono il risultato dell'interazione strettissima fra l'anatomia del piede, la natura e la disposizione del substrato rispetto al piano geografico, la

dinamica dell'andatura e persino la volontà del *trackmaker* (che può, ad esempio, deliberatamente fare passi corti anche se ha gambe lunghe), etc. In particolare, come fanno rilevare D'Août e i suoi collaboratori, fattori statici e dinamici devono essere considerati insieme per avere una visione completa e obiettiva, in particolare: «*the shape of the foot, the mechanical properties of the foot, its kinematics, and its kinetics. In addition, the mechanical properties of the substrate (mostly volcanic ash or granular media, e.g. sand) will probably play an important role (...)*» [D'Août et al., 2010].

Se, dunque, è ampiamente dimostrato che un'impronta di piede riflette fedelmente, fra l'altro, le distribuzioni vettoriali delle pressioni indotte sugli arti dalle localizzazioni del centro di massa e del peso corporeo durante la deambulazione [Robbins, 1985, 1986; Kullmer et al., 2003; Berge et al., 2006; Morse et al., 2010; Reel, 2012; Bennett & Morse, 2014; Panarello & Mietto, 2017; etc.], bisognerebbe comunque tener conto sia delle spinte propulsive – volontarie e involontarie – [cfr. Day & Wickens, 1980; Raichlen et al., 2010; D'Août et al., 2010; etc.] sia di altri aspetti tafonomici che influenzano lo stato di conservazione generale del substrato e anche delle orme che vi sono conservate. Gli agenti naturali e antropici, infatti, con il passare del tempo, cancellano inesorabilmente dettagli preziosi [Bennett et al., 2013]. Bisognerebbe, infine, tener conto del fatto che ogni modello dinamico disponibile e applicabile è il risultato di sperimentazioni effettuate sull'uomo attuale e, quindi, non può contemplare tutti i fattori legati al *trackmaker* preistorico, compresi le variazioni di specie, i differenti stadi evolutivi e anche la presenza o meno di patologie e deformazioni [Panarello, 2016].

Il più volte citato studio di D'Août et al. [2010], condotto sulla sabbia, ha dimostrato che – forse – la pressione è il più significativo fattore predittivo della profondità di un'orma in corrispondenza del suo punto più prossimale, cioè in corrispondenza del tallone, ma non lo è nella parte più distale, dove è più incidente l'azione legata all'impulso. Lo stesso studio ha mostrato che, sui substrati morbidi e sufficientemente plastici, la superficie del piede, sulla quale agisce il carico corporeo, appare dilatata e aumentata nelle dimensioni.

Dunque, con queste premesse e con la consapevolezza che fino a quando non saranno determinate con precisione le caratteristiche meccaniche del substrato, i suoi tempi di essiccazione e litificazione, nonché il suo indice di Winkler, fino a quando non sarà stata studiata – in tutta la sua completezza – la meccanica dell'interazione substrato/piede, durante la creazione di un'orma, ogni dettaglio quantitativo conserverà sempre un sensibile margine di imprecisione. Ciò – come predetto – è dovuto al fatto che le componenti dell'orma, statiche e dinamiche, non vengono considerate simultaneamente. Inoltre, poiché in assenza di tali studi, non è possibile stabilire neppure quanto e come l'orma vera e propria sia deformata, rimane in vita un margine di interpretazione che si può tentare di superare solo mediante la logica e qualche confronto anatomico.

Negli ultimi vent'anni, lo sforzo internazionale di raggiungere metodologie di validazione e di confronto obiettive ha compiuto passi da gigante, soprattutto grazie all'evoluzione delle tecnologie di rilievo e analisi dei dati, ma ulteriori perfezionamenti sono tutt'ora in corso e sono quasi tutti orientati nella direzione di creare una banca-dati, in cui vi sia il maggior numero possibile di informazioni, e che le medesime informazioni siano il più possibile disponibili per la comunità scientifica internazionale. Allo scopo di favorire un confronto attendibile dei dati, si sta anche cercando di trovare una certa uniformità convenzionale [Falkingham et al., 2018].

Uno dei maggiori problemi, nella comparazione dei dati, è – infatti – proprio la diversità delle convenzioni che vengono adottate per la misurazione dei parametri dimensionali e anche per la loro analisi e valutazione. Ciò è, spesso, dovuto al fatto che quasi nessuno degli studiosi, impegnati in questi procedimenti di “raffinamento” metodologico, è propenso a credere che il metodo da lui scelto o creato possa essere meno efficace degli altri. Neppure sono frequentissimi gli studi sull'attendibilità dei dati ottenuti dal campionamento e dall'analisi dei medesimi [Reel, 2012]. In ogni caso, come già detto, qualunque modello icnologico si può elaborare solo con campioni messi a punto su esemplari di *H. sapiens* attuale, lasciando, quindi, sempre ragionevoli margini di

incertezza con i modelli elaborati dopo il rilievo di orme lasciate da ominini estinti e/o che si sono evoluti e di cui non si conosca la precisa ontogenesi.

Con una tale diversità nei campioni, nella scelta delle convenzioni delle misurazioni e degli algoritmi di analisi dei dati, si ritiene che sia quasi un'utopia pretendere di superare completamente i problemi legati al confronto dei dati: la conseguente imposizione di calibrazioni, per quanto accurata voglia essere, non potrà mai garantire la totale assenza di errori, talvolta meramente algebrici.

Sarebbe sempre bene, dunque, tenere a mente questo fatto e procedere con la massima cautela sia nella scelta del metodo di analisi sia nella proposta dei risultati.

Quanto predetto è vero anche quando si raccolgono e analizzano dati icnologici riferibili a *Homo sapiens*, ma lo è ancora di più quando i *trackmaker* sono esemplari di altre specie di ominini, vissute, talvolta, in tempi lontanissimi e di cui rimangono solo pochi resti fossili osteologici e rare testimonianze culturali.

La scelta e la lettura dei *landmark* anatomici, che vengono impiegati nei procedimenti mensurali è, dunque, effettuata con grande variabilità ed è sempre interpretativa, soprattutto quando non tutti i principali dettagli anatomici (tallone, avampiede, alluce, dita, etc.) sono bene conservati. D'altro canto, se non si accettasse il margine di insuperabile interpretatività delle evidenze, bisognerebbe abbandonare ogni tentativo di studio e porre una "*crux desperationis*" sulle problematiche morfometriche legate alle icniti umane. L'unica cosa che si può fare è tentare di contenere le deviazioni statistiche nei margini più stretti possibili.

Un passo importante nella direzione di agevolare la creazione e l'uniformazione di modelli scalati è stato fatto dall'Università di Bournemouth (UK), con la creazione del «*Footprint Data Archive*» (<http://footprints.bournemouth.ac.uk/>) e la messa a disposizione, dal medesimo portale, di due preziosi freeware, *FootProcessor* e *DigTrace* (<http://www.digtrace.co.uk/>), nelle versioni "Pro" e "Academic", per l'analisi e la comparazione dei dati.

DigTrace, in particolare, per la potenza dei suoi algoritmi, utili soprattutto in fase di confronto, ha consentito ad esempio, di elaborare un'«orma media» dalle orme delle piste G1 e G2 di Laetoli [Bennett et al., 2016].

Tuttavia, la scelta, a tutti i costi, dell'impiego di un algoritmo statistico, per quanto sofisticato e attendibile possa essere, non sembra sempre condivisibile, soprattutto quando le evidenze da valutare non conservano elementi a sufficienza o non ne conservano affatto. Nel primo caso, infatti, la statistica servirebbe più per l'analisi dei dati reali che per la creazione di dati interpolati; nel secondo caso, oltre a suggestive ipotesi, non si potrebbe avere altro.

Si pensa, inoltre, che si dovrebbe tener conto che l'analisi di orme fossili non può prescindere dalla consapevolezza che, dal momento dell'impressione del substrato a quello del definitivo consolidamento, la struttura delle orme subisce – come predetto – una serie di deformazioni che dipendono certamente dal tempo trascorso e variano a seconda degli agenti che hanno agito sulla struttura medesima (erosione, compressione, collasso gravitativo dei bordi, deformazione della materia impressa, bioturbazioni, etc.). La consapevolezza di questo fatto conferma che l'analisi delle orme fossili non può che essere interpretativa e la scienza è ancora alla ricerca di un modello che possa restituire dati molto vicini all'agognata obiettività.

Uno studio sperimentale degli effetti di alterazione dei fenomeni erosivi sulle strutture originarie delle orme è stato recentemente pubblicato sul *Journal of Archaeological Science: Reports* ad opera di Ashleigh L. A. Wiseman e Isabelle De Groote [2018]. Esso è basato sul confronto fra i dati ricavati dall'analisi del degrado di orme create sperimentalmente con quelli che la natura (azione tidale marina) causa sui livelli olocenici impressi di Formby Point (UK). Il risultato di questa approfondita analisi comparativa e sperimentale conferma che l'azione degli agenti naturali altera effettivamente sia la forma sia le dimensioni delle orme prima della loro solidificazione [Wiseman & De Groote, 2018]. Pertanto, se non è possibile determinare con precisione assoluta (e questo accade nella quasi totalità dei casi) la tempistica e le precise modalità di consolidamento del

substrato, tutti gli elementi che hanno agito sulle strutture ancora plastiche e tutti i parametri di azione e reazione fra l'arto e la materia imprimibile durante il processo dinamico di creazione delle orme [Bates et al., 2013], qualunque risultato legato alle misurazioni, all'analisi cinematica dell'andatura e alle stime riguardanti massa, statura, sesso, ecc. del *trackmaker* dovrebbe essere considerato come preliminare. Anche le più efficaci e accreditate tecniche di ricostruzione delle caratteristiche corporee dell'autore delle orme [Robbins, 1978, 1985, 1986; Qamra et al., 1980; Byers et al., 1989; Giles & Vallandigham, 1991; Barker & Scheuer, 1998; Kennedy, 1996, 2000; Kennedy et al., 2003, 2005; Reel et al., 2010; Bennett & Morse, 2014 e bibliografia citata; Panarello & Mietto, 2017; etc.] e delle caratteristiche della sua andatura [Alexander, 1984; Tuttle, 2008; Wall & Charteris, 1981; Wilkinson et al., 1995; Wilkinson & Menz, 1997; Saborit et al., 2019; etc.] si pensa che non possano non tener conto di questo fatto.

Come procedere, allora, nello studio di un icnosito di ominini preistorici?

La via più logica sembra essere quella che consiglia di procedere prima a un rilievo puntuale di tutte le evidenze, di contestualizzarle geologicamente e cronologicamente e poi di procedere alla loro analisi utilizzando due percorsi diversi, ma entrambi finalizzati alla redazione di un profilo il più possibile completo, che consenta anche una comparazione con i dati attualmente disponibili altrove, che sia la più ampia possibile al momento e che rimanga anche come solida base di dati, quando gli studi sul sito potranno proseguire.

Si dovrebbe, insomma, stabilire prima di tutto, se le cavità sul terreno sono veramente orme fossili e poi procedere a tutte le altre analisi e, in questo senso, le interpolazioni algoritmiche si pensa che siano da lasciare da parte, almeno in un primo momento. Bisogna analizzare obiettivamente ed esclusivamente ciò che è, in qualche modo, misurabile facilmente e riscontrabile direttamente nel modo più preciso possibile e poi verificare che le prime impressioni possano essere convergenti o divergenti rispetto a qualche modello statistico.

Recenti studi [Panarello, 2016 con bibliografia; Panarello et al., 2017, 2018; Panarello & Mietto, 2017 con bibliografia] hanno confermato, anche con casi-studio, che, perché una depressione sul terreno possa essere definita obiettivamente un'orma umana, devono verificarsi tutte le seguenti condizioni:

1. dev'essere localizzata su una superficie che ha attraversato, nella sua storia geologica, almeno un momento in cui è stata deformabile e, quindi, plastica;
2. dev'essere su una superficie di discontinuità stratigrafica;
3. deve avere un "iter" tafonomico ben chiaro;
4. deve mostrare la presenza di bordi di espulsione, cioè dei segni della presenza di una risposta del substrato a un'azione dinamica;
5. deve conservare i segni di anatomie riconducibili senza forzature a un piede umano;
6. dev'essere coordinata in uno schema d'andatura;
7. dev'essere compatibile, cronologicamente, con l'ipotetico *trackmaker*.

Se tutte le condizioni suddette sono verificate, si può passare allo "step" successivo, che è quello dell'attribuzione delle orme a uno specifico *trackmaker*. Ciò, come anticipato, dovrebbe aver luogo sulla base del rilievo oggettivo di precise connessioni anatomiche create, nelle depressioni sul terreno, dal movimento vettoriale del centro di massa durante la deambulazione e/o e dalla presenza di schemi d'andatura riconoscibili [Panarello, 2016 con bibliografia].

Nel caso dell'uomo attuale, lo spostamento vettoriale del peso corporeo durante un ciclo d'andatura è ben noto [Klenerman & Wood, 2006], al pari della sua caratteristica cinematica [Segers, 2016 con bibliografia] e anche l'anatomia generale del piede e delle altre membra del corpo è riconducibile a schemi bene riconoscibili.

Prima di compiere qualunque valutazione sulle tracce connesse al ciclo d'andatura di un primate bipede abituale, quale è l'uomo anatomicamente moderno, è anche utile sintetizzarne e tenerne presenti le principali fasi [Harcourt-Smith, 2007], che sono sostanzialmente tre. La prima fase,

cosiddetta “di appoggio” (*stance phase*) inizia nel momento in cui il tallone tocca la terra. In questo momento, detto “di appoggio” o “d’impatto” (*touch-down, heel strike*), il ginocchio è completamente esteso e il piede dorsiflesso, cosicché la sola parte del piede che tocca il terreno è proprio il tallone. La flessione plantare del piede, che ha luogo in questo momento, fa sì che il massimo carico corporeo si trasferisca e transiti lungo il bordo laterale del piede.

La seconda fase, detta “di mezzo” o “intermedia” o “di medio appoggio” (*midstance*), è quella in cui il corpo del camminatore grava totalmente sul piede portante, mentre il corpo trasferisce il suo slancio dinamico in direzione anteriore, portando il massimo carico sulla gamba e trasferendo il peso in direzione mediale verso la pianta del piede. In questa fase ha luogo una forte contrazione dei muscoli flessori plantari che portano l’avampiede a premere fortemente sul terreno, allontanandosi progressivamente da esso mentre il corpo procede in avanti. Questa fase termina quando tutto il peso del corpo, dopo essersi trasferito sull’alluce, termina con una fortissima pressione su questo solo dito (*push-off*) seguita da un completo sollevamento del medesimo (*toe-off*).

Inizia, ora, l’ultima fase del ciclo, ossia quella cosiddetta di “sospensione” o di “oscillazione” (*swing phase*), che è quella in cui la gamba è completamente sollevata da terra e si muove in avanti mentre l’altra gamba tocca il terreno per ricominciare il ciclo.

In questo articolato processo, che è il risultato di una lunga evoluzione biologica, il ginocchio ha la funzione di mantenere la gamba dritta, bloccandola quando è in estensione completa, il che agevola il cammino in posizione eretta e facilita l’efficiente trasferimento verso la caviglia del peso corporeo.

Questa ciclicità evidente è caratteristica dell’Uomo e non può essere confusa con quella di altri primati [Harcourth-Smith, 2007].

Perché tutto questo potesse attuarsi, il piede umano ha cambiato la sua forma e le sue proporzioni, assumendo una conformazione completamente diversa da quella di tutti gli altri primati.

Se, infatti, ne osserviamo con attenzione le caratteristiche anatomiche [Harcourt-Smith, 2007], noteremo:

- a. la presenza di archi longitudinali (uno mediale e uno laterale), che garantiscono l’ammortizzazione e la conservazione della rigidità strutturale durante la fase di appoggio;
- b. l’allungamento della zona tarsale, che agisce come leva e aumenta la propulsione/slancio durante il ciclo d’andatura;
- c. l’accorciamento radiale (II-V), che facilita il leveraggio del piede;
- d. la robustezza delle ossa metatarsali che varia, in modo decrescente, secondo la successione 1-5-4-3-2, rispecchiando, perfettamente lo spostamento vettoriale del peso corporeo lungo il margine laterale del piede;
- e. l’assenza di curvatura nelle ossa falangeali e la non-opponibilità dell’alluce, che indicano una completa perdita della funzione prensile.

Sono moltissimi e tutti sufficientemente affidabili i modelli di rilievo delle impronte umane, la maggior parte dei quali elaborati in ambiente forense [Chippaux, 1950; Šmiřák, 1960; Robbins, 1978, 1985, 1986; Qamra et al., 1980; Šmahel, 1980; Novotný, 1986; Cavanagh & Rodgers, 1987; Byers et al., 1989; Giles & Vallandigham, 1991; Wilkinson et al., 1995; Wilkinson & Menz, 1997; Kennedy, 1996, 2000; Kennedy et al., 2003, 2005; Barker & Scheuer, 1998; Kullmer et al., 2003; Berge et al., 2006; D’Août et al., 2010; Reel et al., 2010; Reel, 2012; Bookstein & Domjanic, 2015; Mukhra et al., 2018; Tuttle et al., 1990; etc.], ma la scelta di quelli applicabili su un icnosito preistorico, come accennato, non dovrebbe prescindere dalle caratteristiche ambientali del medesimo e dalla quantità e qualità di dettagli anatomici e morfostrutturali che si sono conservati. Sulla base di quanto più volte sottolineato, bisognerebbe – dunque – tener presente che qualsiasi comparazione obiettiva fra i dati del sito di Foresta (Tora e Piccilli) e quelli di altri icnositi, è - talvolta - praticamente impossibile. Questo non perché i dati non siano attendibili, ma perché

sono stati rilevati, analizzati e interpretati mediante convenzioni e algoritmi non omogenei applicati in contesti diversi. Come più volte ribadito, la messa a punto di una tecnica univoca per la gestione e lo studio dei dati riguardanti l'icnologia umana, che tenga anche conto della localizzazione e dello stato di conservazione delle evidenze, è ancora uno dei principali obiettivi degli icnologi e solo quando esso sarà raggiunto si potrà parlare di una comparazione dei dati veramente obiettiva e completa.

Con questa consapevolezza, si ritiene più utile ricavare un'idea comparativa, ancorché preliminare, dai *range* di valori piuttosto che dai valori precisi, quando essi non siano disponibili in modo obiettivo.

Nel caso del sito paleontologico delle "Ciampate del diavolo", vi sono delle orme umane che conservano dettagli sufficienti per una buona misurazione di alcuni parametri, ma non di tutti. Tuttavia, il buono stato di conservazione di un buon numero di esse ha consentito di elaborare e proporre il materiale descritto e mostrato in quest'opera. Alcune orme, infatti, conservano il loro intero perimetro, la zona d'impatto del tallone, l'arco longitudinale mediale, l'impronta dell'alluce e – rare volte (A25, E3, F2) – anche le impronte di altre dita. L'unico elemento che non manca mai (e non poteva essere diversamente, vista la loro ubicazione su un pendio molto acclive) è il punto d'impatto del tallone, che è un punto fondamentale per la ricostruzione dell'intera geometria dell'icnite, e tale elemento – che è l'area più prossimale dell'impronta – è stato scelto come riferimento di base per tutte le altre convenzioni di misurazione che si stanno per elencare e descrivere.

Il punto fondamentale di ciascuno schema è, dunque, il cosiddetto "pternione" (Robbins, 1985), cioè il punto più prossimale dell'area del tallone. Nell'individuazione di tale punto e di tutti gli altri che verranno descritti, bisogna tener presente che per "orma" si è intesa la depressione più profonda e definita lasciata dal piede un attimo prima del "*push-off*", cioè prima della spinta sull'alluce che prelude al sollevamento di un piede prima dell'appoggio di un altro.

In sostanza, l'impronta vera e propria, è stata assunta essere quella in cui il piede ha trovato il massimo equilibrio garantendo il massimo bilanciamento all'intero corpo del *trackmaker*.

L'impronta, infatti, va letta come una successione di fotogrammi in sequenza, che registrano ogni micro-movimento per unità di tempo. Nel caso del geosito delle "Ciampate del diavolo", il *trackmaker* dovette negoziare con il substrato malsicuro, cedevole, scivoloso, fortemente inclinato e dal consolidamento irregolare e ciò è stato registrato nei movimenti fossilizzati del piede durante l'intero processo di messa in posto di ogni singola orma: dal punto d'impatto con il terreno, ai movimenti per la ricerca dell'equilibrio, all'ultima spinta prima del passo successivo. Il risultato di tali azioni è la formazione di una cavità strutturalmente complessa, con cambi di direzione repentini e talvolta incontrollati, con pressioni sulle pareti e sul fondo con conseguenti fuoriuscite di materiale plastico e creazioni di gibbosità orientate e caotiche, con tutto ciò – insomma – che si può creare con movimenti difficili e condizionati dalla conservazione dell'equilibrio su una superficie decisamente malsicura, al momento in cui fu impressa.

L'analisi icnologica e antropometrica ha dovuto tener conto di tutto ciò e facilmente si può intuire – ora – perché si è scelto di precisare che cosa si è inteso per "orma" quando sono stati effettuati i rilievi e le misurazioni.

Alcune metodologie preziose e molto obiettive, applicabili su una superficie subplanare con adeguata dovizia di particolari, sarebbero state – nel sito delle "Ciampate del diavolo" – quasi improponibili.

Poiché, come accennato, è compito dello scienziato gestire i dati nel modo più completo possibile, si è scelto di proporre, affiancandole, le tabelle elaborate con un metodo che consenta la misurazione diretta dei valori restituiti e quelli prodotti da una serie di convenzioni geometriche elaborate sulla base degli schemi compulsati. Il "dataset" completo e le costruzioni geometriche realizzate sulla base delle convenzioni che si stanno per definire vengono fornite in Panarello et al. [2022a;b], questo volume, pp. 123-164.

Metodi e convenzioni per il rilievo

L'asse centrale dell'impronta (CA) (Figura 9.1) è definito con il metodo di Kennedy et al. [2003, 2005] e Reel et al. [2010], cioè identificandolo con la bisettrice dell'angolo creato dall'intersezione delle tangenti al perimetro leggibile passanti per i punti di massima estensione laterale e mediale, cioè la retta che unisce il tubercolo metatarsale mediale (mmt) con il tubercolo calcaneale mediale (mct), e la retta che unisce il tubercolo metatarsale laterale (lmt) con il tubercolo calcaneale laterale (lct) [Robbins, 1985].

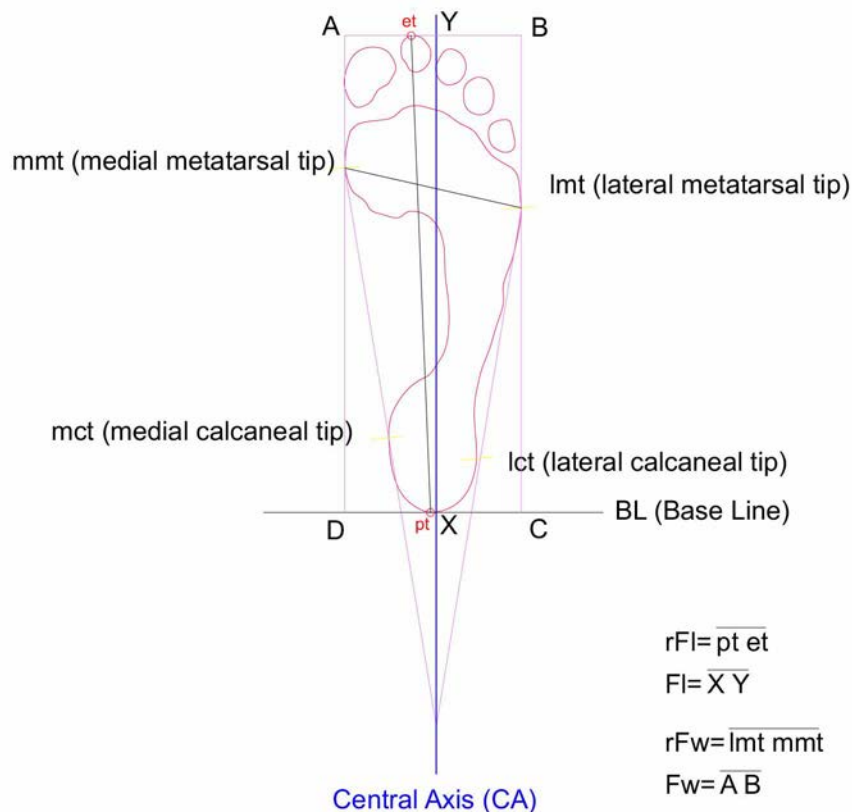


Figura 9.1 Schema grafico di base per la misurazione reale e convenzionale delle orme umane fossili: asse centrale, linea di base, lunghezza e larghezza; (rielaborazione da Robbins [1985]; Kennedy et al. [2003, 2005]; Reel et al. [2010]).

La linea di base di un'impronta (BL = *Base Line*) (Figura 9.1) è definita intersecando il metodo di Robbins [1985: 67-84] con il metodo di Kennedy et al. [2003, 2005]. Essa è la perpendicolare all'asse centrale dell'impronta (CA) passante per il suo punto più prossimale (pt).

La lunghezza (Fl) (Figura 9.1) dell'impronta è calcolata, lungo l'asse centrale, come la distanza fra i punti di intersezione fra le tangenti all'impronta, normali all'asse principale, nei punti più distale del dito più sporgente anteriormente (et = *extreme tip*) e più prossimale (pt = *proximal tip* o pternione) del contorno del tallone rilevabile.

La lunghezza reale, misurabile direttamente (rFl) (Figura 9.1) - o lunghezza diagonale - dell'impronta è misurata come la distanza rettilinea fra il punto più distale (et = *extreme tip*) e quello più prossimale (pt = *proximal tip* o pternione) del contorno rilevabile dell'orma.

La larghezza (Fw) (Figura 9.1) dell'impronta è la distanza fra le due parallele all'asse centrale dell'impronta (CA) passanti per il punto più mediale (mmt) e quello più laterale (lmt) dell'avampiede sul contorno rilevabile dell'orma [Robbins, 1985: 79-80].

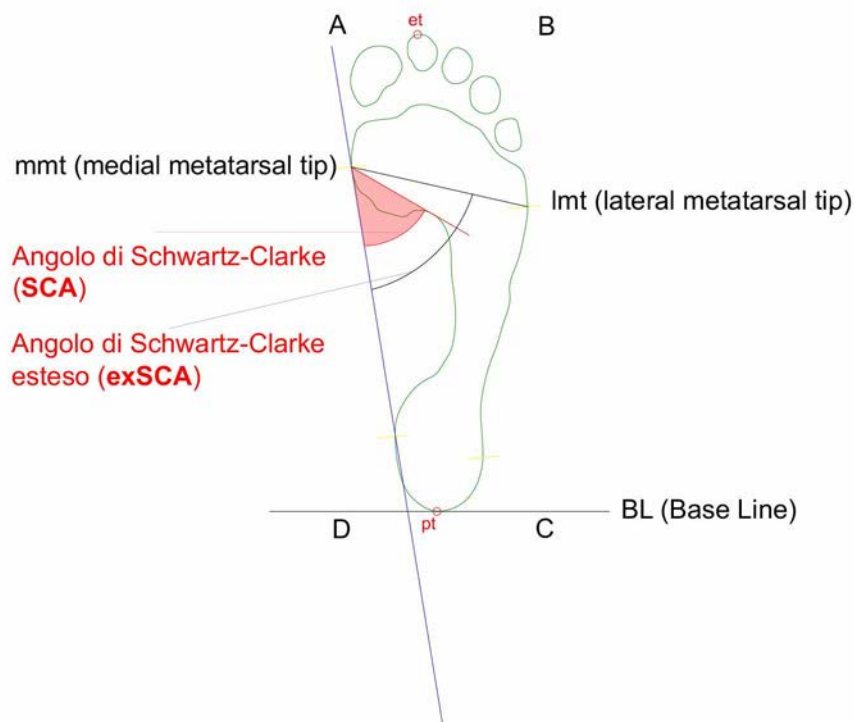


Figura 9.2 Schema grafico di base per la misurazione reale e convenzionale delle orme umane fossili: “angolo di Schwartz-Clarke” e “angolo di Schwartz-Clarke esteso”; (rielaborazione da Clarke [1933]; Šmahel [1980]; Jaworski & Aleksandrowicz [1992]; Citton et al. [2018]).

La larghezza reale dell'impronta (rFw) (Figura 9.1) misurabile direttamente – o larghezza diagonale – è la distanza rettilinea fra il punto più mediale (mmt) e quello più laterale (lmt) dell'avampiede sul contorno rilevabile dell'orma [Kennedy et al., 2003].

La lunghezza del passo (o *Step*) ($P = Pace$) (rFw) (Figura 9.4) è la distanza tra due impronte consecutive (sinistra e destra). Essa è la distanza tra la retta parallela alla linea di base passante per un punto di riferimento dell'orma che precede e la parallela passante per il punto di riferimento identico sull'orma che segue [Tuttle et al., 1990; Wilkinson & Menz, 1997].

La lunghezza dello *Step* reale ($rP = Pace$) (rFw) (Figura 9.4) è la distanza rettilinea diagonale tra *landmark* uguali di due impronte consecutive (sinistra e destra).

La lunghezza dello *Stride* (L) (Figura 9.4), o falcata, o doppio-passo, è la distanza tra due impronte consecutive lasciate dallo stesso piede. Essa è la distanza tra la retta parallela alla linea di base passante per un punto di riferimento dell'orma che precede, e la parallela passante per il punto di riferimento identico sull'orma che segue lasciata dallo stesso piede [Tuttle et al., 1990; Wilkinson & Menz, 1997].

La lunghezza dello *Stride* reale (rL) (Figura 9.4), o falcata, o doppio-passo, è la distanza rettilinea diagonale tra *landmark* uguali di due tracce successive lasciate dallo stesso piede lungo la stessa linea ipsilaterale.

La larghezza della pista ($TW = Trackway Width$) (Figura 9.5) è la misura dell'intera larghezza della pista. Essa va misurata in modo rettilineo individuando le sporgenze più laterali visibili per le quali passano le parallele alle direzioni di *stride* [Leonardi, 1987; Kim et al., 2008].

L'angolo del passo ($PA = Pace Angle$) (Figura 9.5) è l'angolo tra i segmenti che uniscono il medesimo *landmark* anatomico di tre orme consecutive [Leonardi, 1987].

La linea di progressione (o asse della pista) ($TA = Trackway Axis$) (Figura 9.3) è costruita secondo lo schema di Wilkinson et al. [1995], cioè nel seguente modo:

- Collegare un *landmark X* su un'impronta al medesimo *landmark* sull'impronta successiva dello stesso piede, per creare una linea di progressione "omolaterale" o "ipsilaterale".
- Dal *landmark X*, tracciare il segmento perpendicolare alla linea di progressione controlaterale.
- Misurare il punto medio di tutte i segmenti perpendicolari tracciati e unirli. La linea ottenuta sarà la linea di progressione (TA).

L'angolo di progressione di un'orma (FPA=Foot Placement Angle) (Figura 9.3) è definito come l'angolo fra l'orientamento del piede e la direzione di progressione [Kernozec & Ricard, 1990].

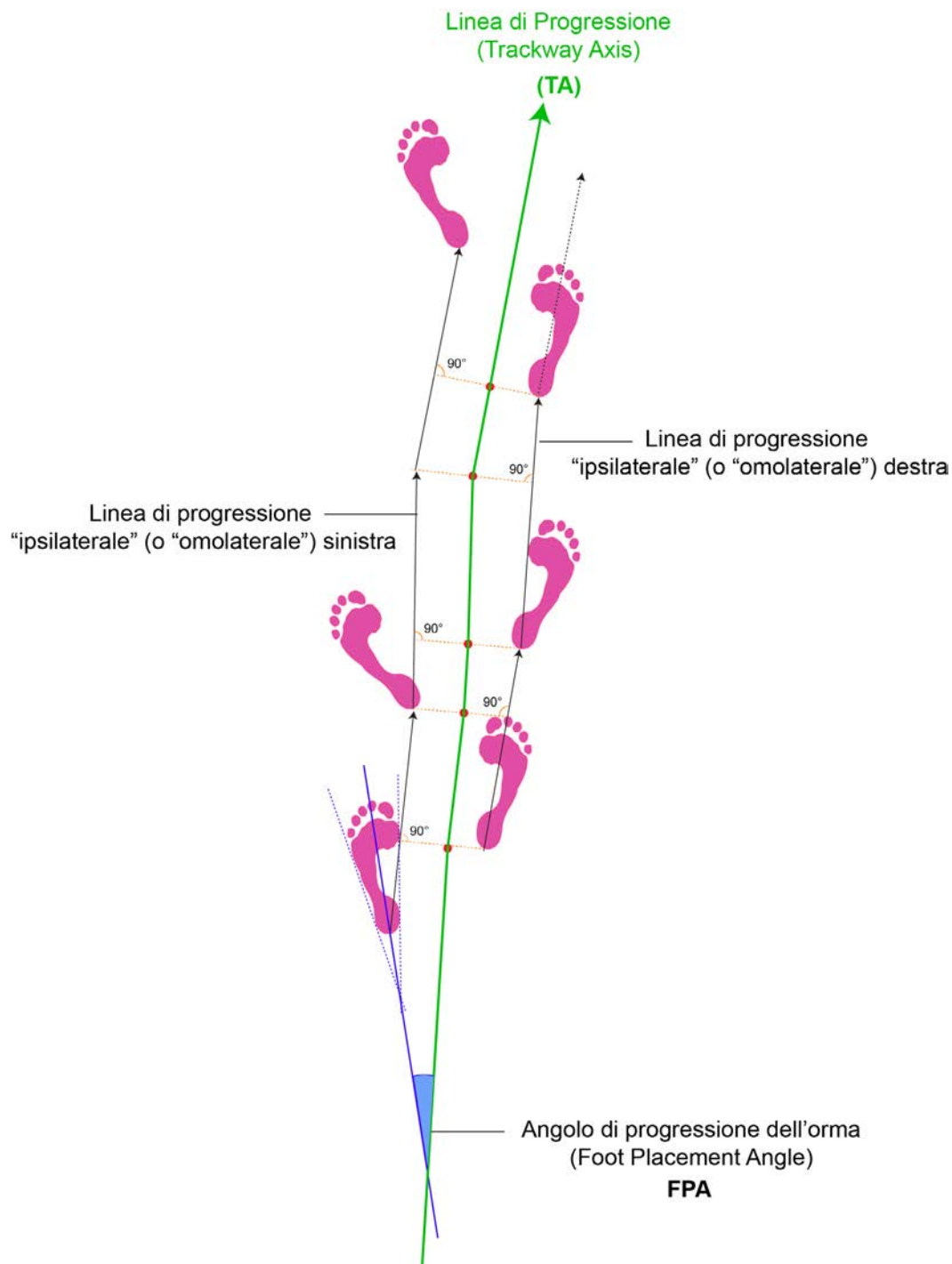


Figura 9.3 Schema grafico di base per la misurazione reale e convenzionale delle piste di orme umane fossili: linee di progressione e angolo di progressione; (rielaborazione da Wilkinson et al. [1995]; Kernozec & Ricard [1990]).

Qui si conviene di considerare l'angolo di progressione del piede come l'angolo formato fra l'asse centrale del piede (CA) e la linea di progressione della pista (TA). Esso ha valore positivo se - nella direzione dell'andatura - l'asse centrale del piede (o il suo prolungamento geometrico) diverge dalla linea di progressione e negativo se la intercetta.

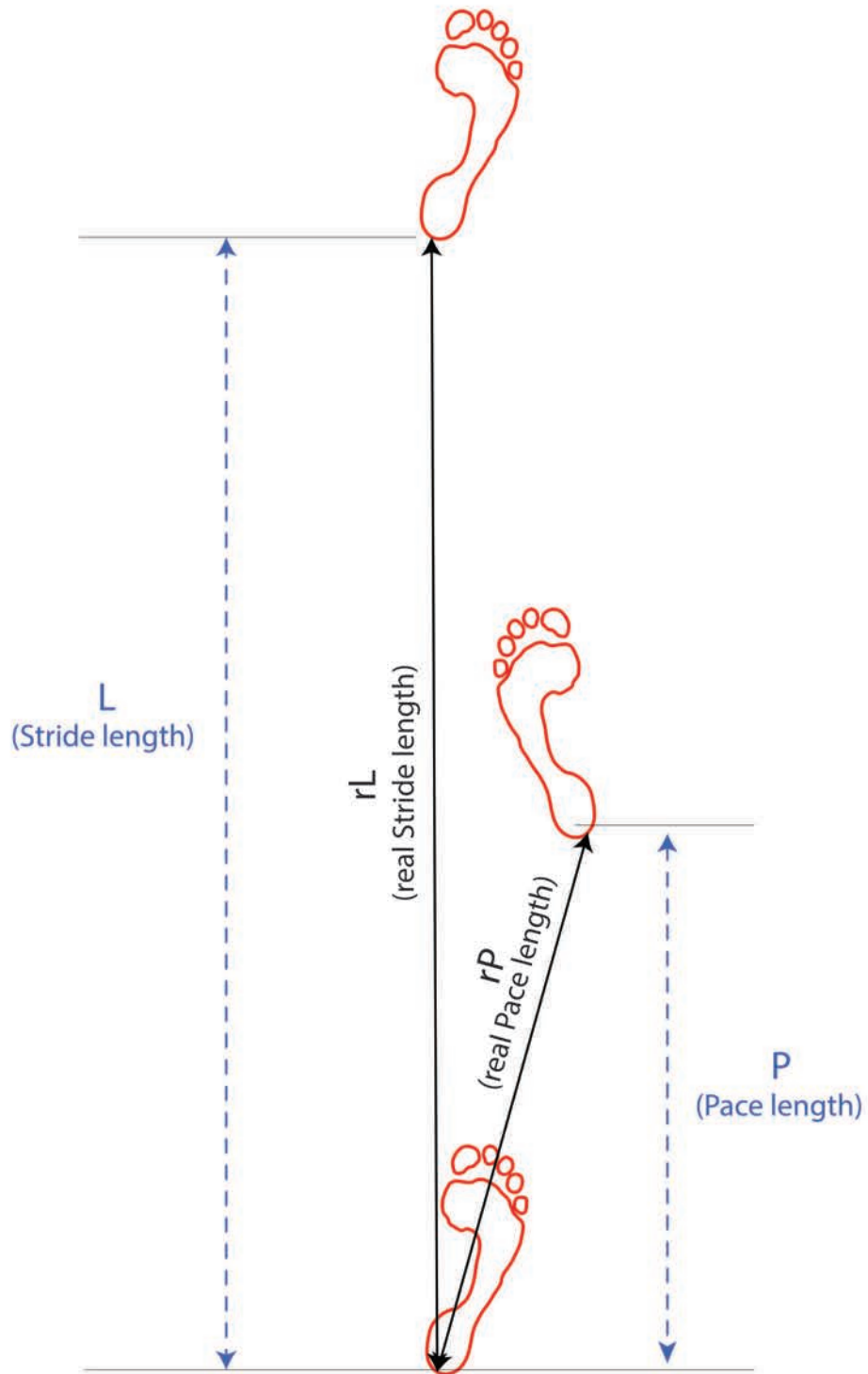


Figura 9.4 Schema grafico di base per la misurazione reale e convenzionale delle piste di orme umane fossili: passo e doppio-passo; (rielaborazione da Wilkinson & Menz [1997]; Tuttle et al. [1990]).

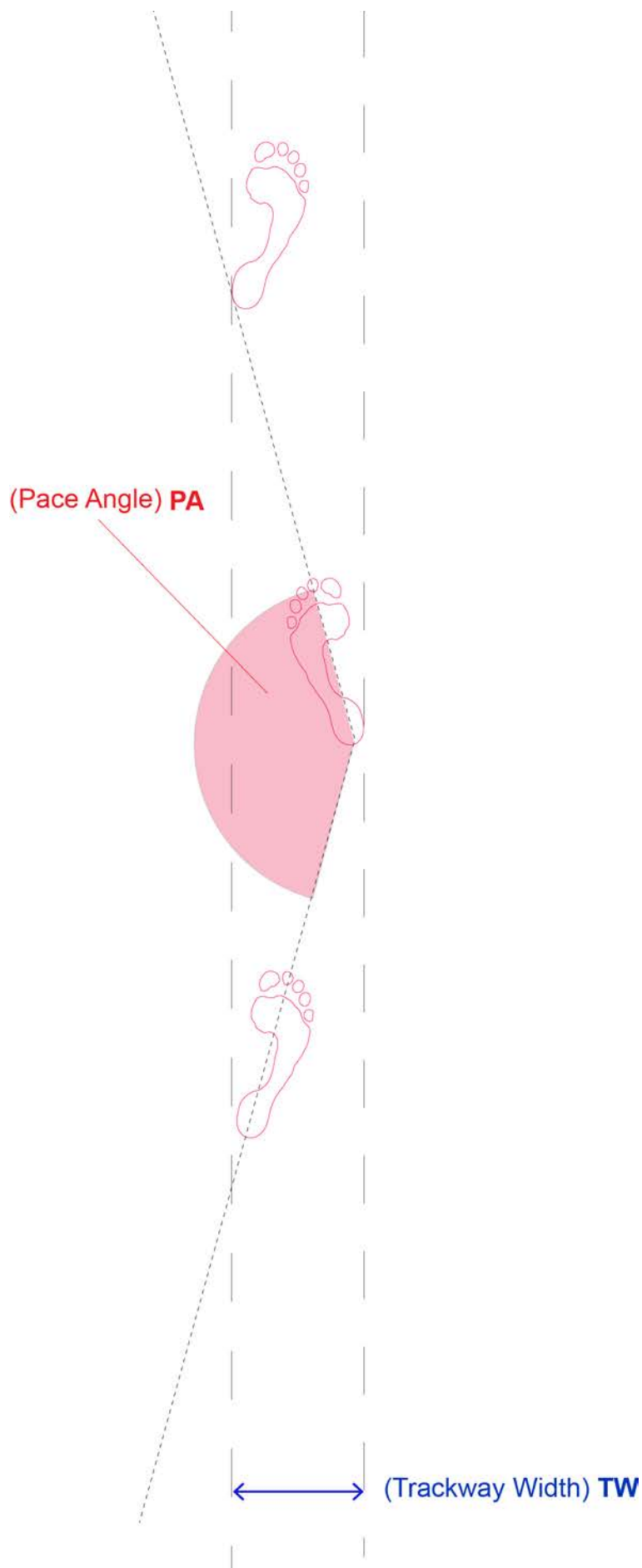


Figura 9.5 Schema grafico di base per la misurazione reale e convenzionale delle piste di orme umane fossili: angolo del passo e larghezza della pista (rielaborazione da Leonardi [1987]; Kim. et al. [2008]).

Foot(print) Index (FI = *Footprint Index*) è il rapporto fra la massima larghezza e la massima lunghezza moltiplicato per 100 [Ashton et al., 2014].

Foot(print) Index reale (rFL = *real Footprint Index*) è definito come il *Footprint Index* (FI), ma calcolato utilizzando le misure di rFw e di rFI.

Angolo di Schwartz-Clarke (SCA = *Schwartz-Clarke Angle*) (Figura 9.2) è definito come l'angolo formato fra la tangente dell'orma passante per i punti più mediali del suo perimetro e la linea che unisce il punto più mediale della zona metatarsale (mmt) con l'apice della concavità dell'arco longitudinale [Clarke, 1933; Šmahel, 1980; Jaworski & Aleksandrowicz, 1992; Citton et al., 2018].

Angolo di Schwartz-Clarke esteso (exSCA = *Extended Schwartz-Clarke Angle*) (Figura 9.2) è, qui, definito come l'angolo formato dalla tangente mediale ai punti di massima sporgenza del tallone (mct) e dell'avampiede (mmt) e la direzione rettilinea che intercetta il punto più laterale e il punto più mediale dell'avampiede (mmt-lmt). Questo valore è stato introdotto solo per registrare un rapporto angolare considerato significativo, perché molto vicino a quello definito da Schwartz-Clarke, in orme in cui il loro stato di conservazione non consente di individuare con obiettiva precisione i *landmark* fissati per la misurazione di tale angolo. Non essendo stato testato e validato sperimentalmente, va considerato come un dato solo indicativo.

A causa della complessità e variabilità morfologica di ciascuna impronta, per le stime, si è scelto di usare i modelli statistici che meglio sembrano assorbire le variazioni antropometriche. Per la stima della statura, si è scelto di utilizzare il modello di Fessler et al. [2005], basato su ANOVA, perché tiene conto sia della diversità di genere dei campioni sia dell'intervallo dei rapporti proporzionali piede/statura sia dei dati misurati in una notevole varietà di popolazioni del mondo [Fessler et al., 2005].

Analogamente, per la determinazione della velocità relativa, si è scelto di utilizzare la formula di Ruiz & Torices [2013], perché essa rappresenta un perfezionamento delle formule di Alexander [1976, 1984], e ha come variabile solo la lunghezza dello *stride*, il quale - essendo molto condizionato dalle geomorfologie nel sito di Foresta - sembra esprimere, meglio di ogni altro elemento, la relatività eventuale dei movimenti e il comportamento del *trackmaker*.

Bibliografia

- Alexander R.McN. (1976). *Estimates of speeds of dinosaurs*. *Nature*: 261: 129-130.
- Alexander R. McN. (1984). *Stride Length and Speed for Adults, Children, and Fossil Hominids*. *American Journal of Physical Anthropology*, 63: 23-27.
- Ashton N., Lewis S.G., De Groote I., Duffy S.M., Bates M., Bates R., Hoare P., Lewis M., Parfitt S.A., Peglar S., Williams C., Stringer C. (2014). *Hominin Footprints from Early Pleistocene Deposits at Happisburgh, UK*. *PLoS ONE*, 9(2): e88329. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088329>.
- Barker S.L., Scheuer J.L. (1998). *Predictive Value of Human Footprints in a Forensic Context*. *Medicine, Science and the Law*, 38 (4): 341-346.
- Bates K.T., Savage R., Pataky T.C., Morse S.A., Webster E., Falkingham P.L., Ren L., Qian Z., Collins D., Bennett M.R., McClymont J. and Crompton R.H. (2013). *Does footprint depth correlate with foot motion and pressure?* *Journal of The Royal Society Interface*, <https://doi.org/10.83:20130009>.
- Bennett M.R., Falkingham P., Morse S.A., Bates K., Crompton R.H. (2013). *Preserving the Impossible: Conservation of Soft-Sediment Hominin Footprint Sites and Strategies for Three-Dimensional Digital Data Capture*, *PLoS ONE*, 8 (4): e60755 (1-15).
- Bennett M.R., Morse S.A (2014). *Human Footprints: Fossilised Locomotion?* Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer.
- Bennett M.R., Reynolds S.C., Morse S.A., Budka M. (2016). *Laetoli's lost tracks: 3D generated*

- mean shape and missing footprints. *Nature: Scientific Reports*, 6: 21916, DOI:10.1038/srep21916 1.
- Berge C., Penin X., Pellé É. (2006). *New interpretation of Laetoli footprints using an experimental approach and Procrustes analysis: Preliminary results*. *Comptes Rendus Palevol*, 5: 561-569.
- Bookstein F.L., Domjanic J. (2015). *The Principal Components of Adult Female Insole Shape Align Closely with Two of Its Classical Indicators*. *PLoS ONE*, DOI:10.1371/journal.pone.0133303
- Byers S., Akoshima K., Curran B. (1989). *Determination of adult stature from metatarsal length*. *American Journal of Physical Anthropology*, 79 (3): 275-279, <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330790303>
- Cavanagh P.R., Rodgers M.M. (1987). *The arch index: a useful measure for footprints*. *Journal of Biomechanics*, 20 (5): 547-551.
- Chippaux C. (1950). *Eléments d'anthropologie*. Marseille: Ecole d'Application du Service de Santé des Troupes Coloniales (vers 1950), 158 p.
- Citton P., Romano M., Salvador I., Avanzini M. (2018). *Reviewing the upper Pleistocene human footprints from the 'Sala dei Misteri' in the Grotta della Bàsura (Toirano, northern Italy) cave: An integrated morphometric and morpho-classificatory approach*. *Quaternary Science Reviews*, 169: 50-64.
- Clarke H.H. (1933). *An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in foot examinations*. *Research Quarterly. American Physical Education Association*, 4(3): 99-107. DOI:10.1080/23267402.1933.10626636
- D'Août K., Meert L., Van Gheluwe B., De Clerq D., Aerts P. (2010). *Experimentally Generated Footprints in Sand: Analysis and Consequences for the Interpretation of Fossil and Forensic Footprints*. *American Journal of Physical Anthropology*, 141: 515-525.
- Day M., Wickens E.H. (1980). *Laetoli Pliocene hominid footprints and bipedalism*. *Nature*, 286: 385-387.
- Falkingham P.L., Bates K.T., Avanzini M., Bennett M., Bordys E.M., Breithaup B.H., Castanera D., Citton P., Díaz-Martínez I., Farlow J.O., Fiorillo A.R., Gates S.M., Getty P., Hatala K.G., Hornung J.J., Hyatt J.A., Klein H., Lallensack J.N., Martin A.J., Mary D., Matthews N.A., Meyer C.A., Milàn J., Minter N.J., Razzolini N.L., Romilio A., Salisbur S.W., Sciscio L., Tanaka I., Wiseman A.L.A., Xing L.D., Belvedere M. (2018). *A Standard Protocol for Documenting Modern and Fossil Ichnological Data*. *Palaeontology*, 61 (4): 469-480.
- Fessler D.M.T., Haley K.J., Lal R.D. (2005). *Sexual dimorphism in foot length proportionate to stature*. *Annals of Human Biology*, 32 (1): 44-59.
- Giles E., Vallandigham P.H. (1991). *Height Estimation from Foot and Shoeprint Length*, *Journal of Forensic Sciences*, 36 (4): 1134-1151.
- Harcourt-Smith W.E.H. (2007). *The Origins of Bipedal Locomotion*. In Henke W., Tattersal I. (eds.) (2007). *Handbook of Paleoanthropology*. Berlin-Heidelberg-New York: Springer: 1483-1518.
- Jaworski J.M., Aleksandrowicz R. (1992). *A comparison of three methods of plantographic foot excavation assessment*. *Anthropologie*, 30 (2): 197-198.
- Kennedy R.B. (1996). *Uniqueness of bare feet and its use as a possible means of identification*. *Forensic Science International*, 82: 81-87.
- Kennedy R.B. (2000). *Bare Footprint Marks*. In Siegel J., Knupfer G., Saukko P. (eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences*, Vol. 3. San Diego: Academic Press: 1189-1195
- Kennedy R.B., Chen S., Pressman I.S., Yamashita A.B., Pressman A.E., FRCSC (2005). *A large-scale statistical analysis of barefoot impressions*. *Journal of Forensic Sciences*, 50 (5): 1-10.
- Kennedy R.B., Pressman S.I., Chen S., Petersen P.H. and Pressman A.E., F.R.C.S. (2003). *Statistical Analysis of Barefoot Impressions*. *Journal of Forensic Sciences*, 48 (1): 1- 9.
- Kernozek T.W., Ricard M.D. (1990). *Foot Placement Angle and Arch Type: Effect on Rearfoot Motion*. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 71: 988-991.
- Kim J.Y., Kim K.S. Lockley M.G., Matthews N. (2008). *Hominid Ichnotaxonomy: An Exploration of*

- a *Neglected Discipline*. *Ichnos*, 15: 126–139, 2008.
- Klenerman L., Wood B. (2006). *The Human Foot. A Companion to Clinical Studies*. London: Springer.
- Kullmer O., Schrenk F., Dörrhöfer B. (2003). *High-resolution 3D-image analysis of ape, hominid and human footprints*. In Franzen J.L., Köhler M., Moyà-Solà S. (eds.), *Walking Upright*. Results of the 13th International Senckenberg Conference at the Werner Reimers Foundation Bad Homburg v. d. H. and at the Senckenberg Research Institute, Frankfurt am Main, October 5-9, 1999 (CFS Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 243: 85-92).
- Leonardi G. (1987). *Glossary and Manual of Tetrapod Footprint Palaeoichnology*. Serviço de Edições Técnicas – Setec: 1-75.
- Morse S.A., Bennett M.R., Gonzalez S., Huddart D. (2010). *Techniques for verifying human footprints: reappraisal of pre-Clovis footprints in Central Mexico*. *Quaternary Science Reviews*, 29: 2571-2578.
- Mukhra R., Krishan K., Kanchan T. (2018). *Bare footprint metric analysis methods for comparison and identification in forensic examinations: A review of literature*. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 58: 101-112. DOI:10.1016/j.jflm.2018.05.006.
- Novotný V. (1986). *Shaping of the foot arch and full-time Sport activities*. *Anthropologie*, 24 (2-3): 207-216.
- Panarello A. (2016). *Elementi di Paleoichnologia degli Ominidi*. Marina di Minturno: Armando Caramanica Editore.
- Panarello A., Mietto P. (2017). *Can it be an actual human fossil footprint? The “Combined Method” helps to give an answer*. *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 30 (2): 105-123.
- Panarello A., Mietto P., Santello L., Belvedere M. (2017). *Anthropic artefacts and donkey horseshoe traces looking like human footprints: a case study from the Roccamonfina volcano (Central Italy) with implication for human ichnology*. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 56 (2): 277-288.
- Panarello A., Santello L., Belvedere M. & Mietto P. (2018). *Is It Human? Discriminating between Real Tracks and Track-Like Structures*. *Ichnos*, 25(1): 66–75. DOI:10.1080/10420940.2017.1337010
- Panarello A., Farinano G., Mietto P. (2022a). *Il dataset dimensionale completo delle “Ciampate del diavolo”*. *Misc. INGV*, 64S1: 1-38, <https://doi.org/10.13127/misc/64/S1>
- Panarello A., Farinano G., Mietto P. (2022b). *Costruzioni geometriche per la creazione del dataset dimensionale completo delle “Ciampate del diavolo”*. *Misc. INGV*, 64S2: 1-46 <https://doi.org/10.13127/misc/64/S2>
- Qamra S.R., Sharma B.P., Kaila P. (1980). *Naked foot marks - a preliminary study of identification factors*. *Forensic Science International*, 16 (2): 145-152.
- Raichlen D.A., Gordon A.D., Harcourt-Smith W.E.H., Foster A.D., Randall W.H. Jr. (2010). *Laetoli Footprints Preserve Earliest Direct Evidence of Human-Like Bipedal Biomechanics*. *PLoS ONE*, 5 (3) - e9769: 1-6 + Supporting Materials.
- Reel S. (2012). *Development and evaluation of a valid and reliable footprint measurement approach in forensic identification*. York, UK, 2012: The University of Leeds, York St. John University, .
- Reel S., Rouse S., Vernon W., Doherty P. (2010). *Reliability of a two-dimensional footprint measurement approach*. *Science & Justice*, 58 (3): 113-118
- Robbins L.M. (1978). *The individuality of human footprints*. *Journal of Forensic Sciences*, 23 (4): 778-785.
- Robbins L.M. (1985). *Footprints. Collection, Analysis, and Interpretation*. Springfield (Illinois): Charles C. Thomas.
- Robbins L.M. (1986). *Estimating Height and Weight from Size of Footprints*. *Journal of forensic sciences*, 31 (1): 143-152.
- Ruiz J., Torices A. (2013). *Humans Running at Stadiums and Beaches and the Accuracy of Speed Estimations from Fossil Trackways*. *Ichnos*, 20: 31-35.

- Saborit G., Mondanaro A., Melchionna M., Serio C., Carotenuto F., Tavani S., Modafferi M., Panarello A., Mietto P., Raia P., Casinos A. (2019). *A Dynamic Analysis of Middle Pleistocene human walking gait adjustment and control*. Italian Journal of Geosciences, 138: 231-238.
- Segers V. (2006). *A biomechanical analysis of the realization of actual human gait transition*. Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of doctor in Physical Education, Universiteit Gent.
- Šmahel Z. (1980). *Effects of Body Weight on the Configuration of the Plantar Arch (planimetric study)*. Human Biology, 52 (3): 447-457.
- Šmiřák J. (1960). *Přispěvek k problematice ploché nohy u školní a pracující mládeže*. Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Biol. 1. Suppl. (fide Novotný, 1986; Jaworski and Aleksandrowicz, 1992; Bookstein and Domjanic, 2015).
- Tuttle R.H. (2008). *Footprint Clues in Hominid Evolution and Forensics: Lessons and Limitations*. Ichnos, 15: 158-165.
- Tuttle R., Webb D., Weidl E., Baksh M. (1990). *Further Progress on the Laetoli Trails*. Journal of Archaeological Science, 17: 347-362.
- Wall J.C., Charteris J. (1981). *A kinematic study of long term habituation to treadmill walking*. Ergonomics, 24 (7): 531-542.
- Wilkinson M.J., Menz H.B. (1997). *Measurement of gait parameters from footprints: a reliability study*. The Foot, 7: 19-23.
- Wilkinson M.J., Menz H.B., Raspovic A. (1995). *The measurement of gait parameters from footprints*. The Foot, 5: 84-90.
- Wiseman A.L.A., De Groote I. (2018). *A three-dimensional geometric morphometric study of the effects of erosion on the morphologies of modern and prehistoric footprints*. Journal of Archaeological Science: Reports, 17: 93-102.

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Francesca DI STEFANO, Rossella CELI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico e impaginazione

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2022

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA