

# Analisi con scansione ottica 3D *in vivo* del fotodanno cutaneo

Presentazione di un innovativo dispositivo per la scansione della pelle in tempo reale

## Introduzione

La valutazione oggettiva della texture della pelle e la concentrazione e uniformità dei cromofori cutanei forniscono importanti indicazioni sulla risposta a trattamenti medici e cosmetici e sono dunque di grande importanza per la ricerca dermatologica. Nonostante gli sviluppi di nuove tecniche e strumenti per l'analisi della pelle occorsi negli ultimi vent'anni, il giudizio clinico dei medici sul fotodanno della pelle e sui risultati ottenibili mediante differenti procedure è ancora soggettivo, basato su regole di classificazione empiriche e sulla propria esperienza. Ciò è dovuto al fatto che gli strumenti disponibili fino a oggi erano molto costosi e di complesso utilizzo, mentre gli strumenti di facile utilizzo non garantivano la necessaria precisione.

In questo articolo viene presentato un nuovo sistema di misura ottica, preciso e semplice all'uso, utile nel dimostrare l'efficacia dei trattamenti laser e a luce pulsata IPL più comuni per pelli fotodanneggiate. In questo lavoro sono mostrate immagini catturate con questo nuovo sistema di misura 3D prima e dopo trattamenti laser o IPL effettuati su pazienti affetti da fotodanneggiamento cutaneo.

## Il dispositivo di scansione della pelle

Il sistema Antera 3D (Miravex, Irlanda) consiste in una fotocamera portatile connessa a un computer tramite un cavo Usb ed è completato dal software proprietario che funziona su computer fissi o portatili con sistema operativo Windows. Antera 3D si basa sull'acquisizione di molteplici immagini ottenute con illuminazio-

Matteo Tretti Clementoni, MD<sup>1</sup>  
Rosalia Lavagno, MD<sup>1</sup>  
Maximilian Catenacci, MD<sup>2</sup>  
Roman Kantor, PhD<sup>3</sup>  
Guido Mariotto, PhD<sup>3</sup>  
Igor Shvets, PhD<sup>4</sup>

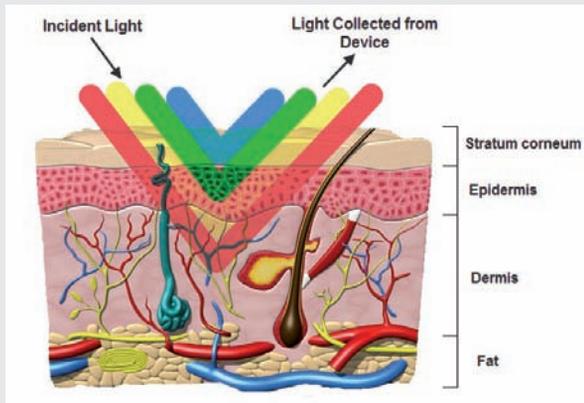
<sup>1</sup>Istituto Dermatologico Europeo, Milano

<sup>2</sup>Skindermolaser, Roma

<sup>3</sup>Miravex Ltd., Trinity Research and Innovation, O'Reilly Institute, Trinity College Dublin, Ireland

<sup>4</sup>School of Physics, Trinity College Dublin, Ireland

*Il sistema Antera 3D è un **dispositivo di scansione della pelle**, basato sull'acquisizione di immagini ottenute con illuminazione differente, che permette di effettuare un'**accurata analisi quantitativa in tempo reale** di parametri chiave per valutare i cambiamenti cutanei di emoglobina, melanina e delle caratteristiche topografiche della pelle e consente di valutare l'efficacia dei trattamenti estetici*



■ Fig. 1: diversi diodi emettono luce di diversa lunghezza d'onda e illuminano la pelle. Le luci riflesse generano varie scansioni che sono usate dal sistema per generare l'immagine in 3D



■ Fig. 2: un grande capillare del naso prima e a 6 mesi dal trattamento eseguito con IPL

ne differente: diodi a diversa lunghezza d'onda illuminano la pelle con luce incidente a diversa direzione di illuminazione (fig. 1) e i dati così acquisiti vengono utilizzati per l'analisi spaziale e multispettro per la ricostruzione della texture della pelle e l'analisi dei suoi cromofori.

La ricostruzione della texture cutanea viene realizzata usando una tecnica basata sul *Shape from Shading* (SFS) (1) che, modificata nella sua sostanza e largamente migliorata per eliminare la riflessione speculare e per aumentare l'accuratezza dei dati di misura (2), permette un'accurata ricostruzione tridimensionale della pelle. La texture ricostruita in questa maniera è quindi utilizzata per l'analisi quantitativa della pelle, che permette, per esempio, il calcolo della profondità e della larghezza delle rughe.

I dati spettrali sono utilizzati per mappare la distribuzione e la concentrazione di melanina ed emoglobina. Al contrario delle

tecniche di scansione in cui sono usati solo tre canali di colori (rosso, verde e blu), Antera 3D usa mappature riflettenti di 7 diverse lunghezze d'onda che coprono l'intero spettro di luce visibile. Questa mappatura permette un'analisi più precisa delle proprietà colorimetriche della pelle, che sono principalmente dominate da due cromofori: la melanina e l'emoglobina.

Le immagini acquisite dallo spettro sono trasformate in mappe spettrali di riflettanza e la forma della superficie della pelle viene utilizzata per compensare la variazione di intensità della luce dovuta alla variazione della direzione dell'illuminazione incidente. I dati di riflettanza sono trasformati in coefficienti di assorbimento della pelle e sono usati per quantificare la concentrazione di melanina e di emoglobina usando correlazioni matematiche con spettri di assorbimento noti di questi cromofori (3).

Le immagini acquisite con

Antera 3D possono essere visualizzate in diversi modi: colore standard della pelle, mappa dei rilievi della trama e delle rughe e mappe della concentrazione di emoglobina e melanina con rappresentazione prospettica in 2D e 3D.

Il medico può selezionare aree specifiche della pelle per analisi quantitative ed elaborare delle analisi "prima & dopo" paragonando due o più immagini. Spot-On è l'algoritmo che compensa automaticamente rotazioni e spostamenti tra le scansioni, assicurando che le aree selezionate nelle diverse immagini siano a registro e garantendo l'accuratezza dell'analisi dei dati. I dati di misurazione possono essere presentati velocemente creando un report che mostra le scansioni analizzate insieme con i valori di misurazione e dei grafici di confronto. La variazione percentuale "prima & dopo" (dati sulla distribuzione della melanina, distribuzione dell'emoglobina e sulla topografia della superficie) è molto utile

per dimostrare l'efficacia del trattamento. I dati possono essere archiviati nel computer o inclusi in altri programmi o documenti come Microsoft Word o Microsoft PowerPoint.

### Trattamento a luce pulsata del fotoinvecchiamento del volto

Negli ultimi anni è cresciuta la domanda di trattamenti estetici non invasivi, che ripristino l'uniformità del colore e la levigatezza della pelle, ponendo rimedio ai danni solari e al rossore associato all'ectasia dei vasi sanguigni. Tali trattamenti sono usualmente anche brevi e indolori e permettono ai pazienti di tornare rapidamente alle proprie attività quotidiane.

Sulla scorta di una ventennale esperienza con i dye laser, a partire dalla fine del secolo scorso sono stati sviluppati strumenti a luce pulsata ad alta intensità (IPL) che, se usati correttamente, sono estremamente efficaci nel trattare danni causati dall'e-

sposizione alla radiazione UV senza influire sugli stili di vita dei pazienti. L'efficacia di tali procedure è ormai comprovata da una casistica che è superiore ai 300.000 pazienti.

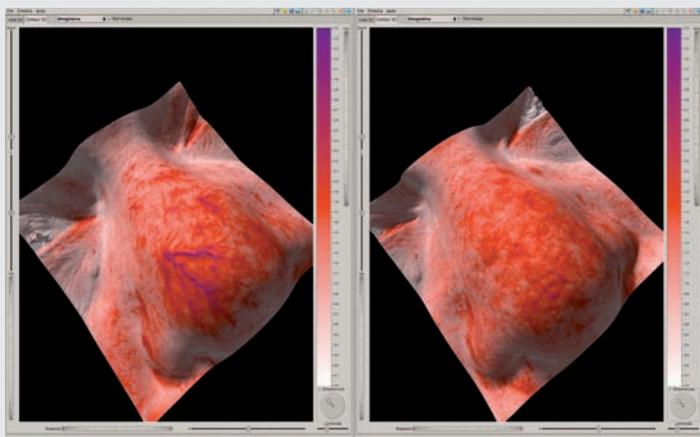
A differenza dei laser, la luce IPL non è monocromatica ma ad ampio spettro e le tipiche lunghezze d'onda utilizzate nelle procedure di ringiovanimento vanno dai 500 ai 1200 nm. Al fine di personalizzare ogni procedura a seconda delle lesioni che si desidera trattare e del tipo di pelle del paziente, l'operatore seleziona, utilizzando un apposito filtro, il range di lunghezze d'onda appropriato, la fluena ( $J/cm^2$ ), la durata dell'impulso (in millisecondi), il tipo di impulso (singolo, doppio o triplo) e il ritardo tra gli impulsi (in millisecondi).

Nel caso di vasi sanguigni dilatati (presenti per esempio nei pazienti con danni da esposizione solare e rosacea), la luce viene selettivamente assorbita dall'emoglobina, raggiungendo il letto capillare nel derma e distruggen-

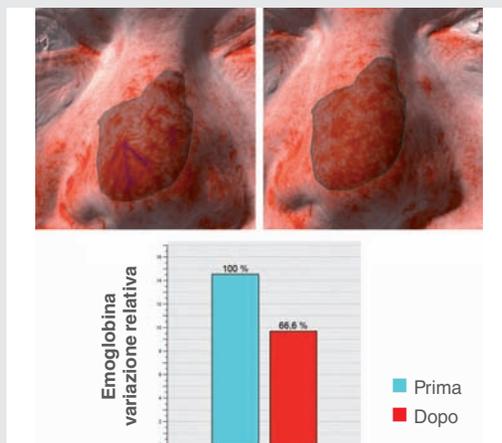
do selettivamente i vasi sanguigni anomali. Per quanto riguarda macchie solari e lentiggini, l'impulso luminoso frantuma i granuli di melanina presenti alla giunzione dermo-epidermica. I frammenti di melanina più piccoli vengono quindi eliminati dai macrofagi (4).

I grandi vasi sanguigni nel naso (fig. 2) possono, per esempio, essere trattati in poche sessioni combinando filtri diversi (590 e 560 nm), diverse fluenze (22 e 19  $J/cm^2$ ) e diversa durata e ritardo tra gli impulsi. Le immagini in 3D (fig. 3) chiariscono visivamente l'efficacia del trattamento, mentre il report che analizza matematicamente la scansione precedente e quella successiva mostra la percentuale di miglioramento (fig. 4).

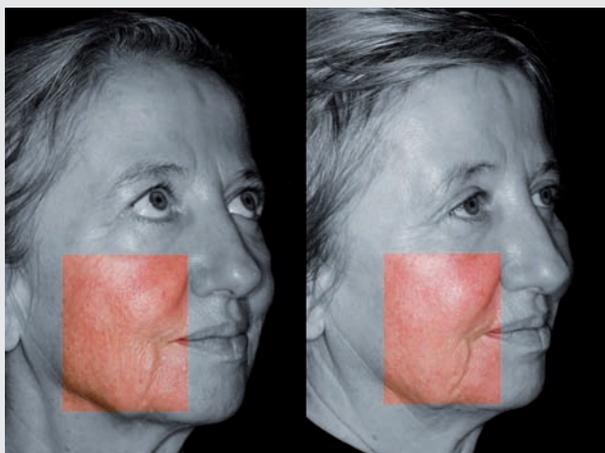
Le macchie solari e le discromie della pelle possono essere trattate con poche sessioni di trattamenti (fig. 5) che distruggano i granuli dei pigmenti a diversa profondità. Le immagini cliniche mostrano un cambiamento



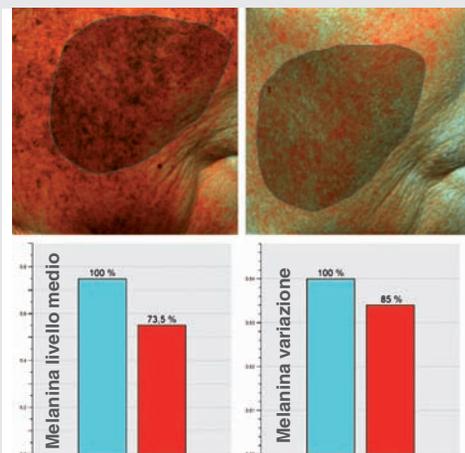
■ Fig. 3: l'immagine Antera in 3D del paziente in fig. 2, prima e dopo il trattamento. Più scuro è il colore (magenta/viola), più elevata è la concentrazione di emoglobina



■ Fig. 4: l'analisi della variazione di emoglobina nella zona selezionata del naso mostra un miglioramento di oltre il 33%



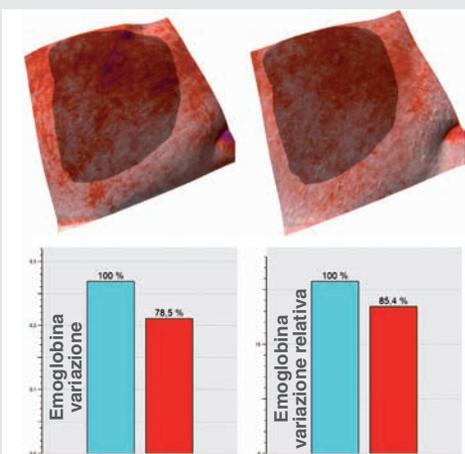
■ Fig. 5: una paziente di 54 anni prima e dopo 4 sessioni di trattamento IPL. La zona evidenziata mostra l'area soggetta all'analisi dell'Antera 3D



■ Fig. 6: l'analisi matematica della paziente in fig. 5 mostra che il livello di melanina si è ridotto di oltre il 25% e la sua variazione è diminuita del 15%



■ Fig. 7: fotoinvecchiamento a prevalente componente vascolare di un paziente di 52 anni. Sulla destra, il risultato dopo 4 sessioni di trattamento con IPL



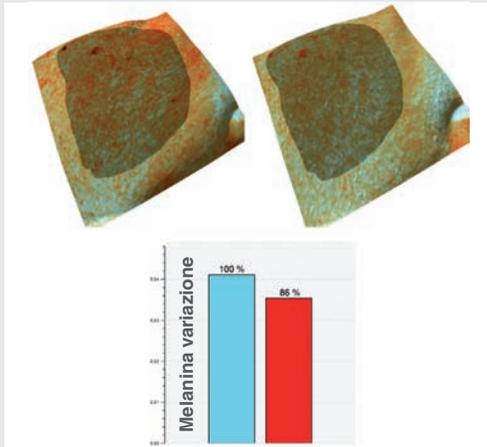
■ Fig. 8: aspetto in 3D del paziente in fig. 7, prima e dopo trattamento con IPL. L'analisi mostra una riduzione della concentrazione media di emoglobina

che è meno facile da discernere, mentre con l'utilizzo di Antera 3D il miglioramento è facilmente apprezzabile e quantificabile (fig. 6).

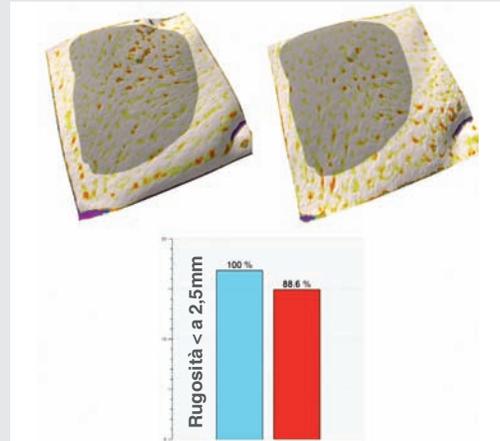
Un trattamento IPL completo dovrebbe dare origine a una riduzione delle teleangectasie, a una diminuzione globale della quantità di melanina, una sua distribuzione più uniforme e

una pelle con un numero e una profondità minore delle rughe. Il miglioramento a livello vascolare è spesso clinicamente evidente (fig. 7), mentre le altre caratteristiche non sono sempre così ovvie. Il sistema in 3D può evidenziare il miglioramento vascolare calcolando, inoltre, la percentuale di cambiamento (fig. 8). Notevoli miglioramenti

possono essere osservati anche nell'analisi della variazione della melanina (che dopo il trattamento appare minore in senso assoluto e con distribuzione più uniforme) (fig. 9). L'analisi della superficie cutanea permette di oggettivare il miglioramento del numero e della profondità delle rughe (fig. 10).



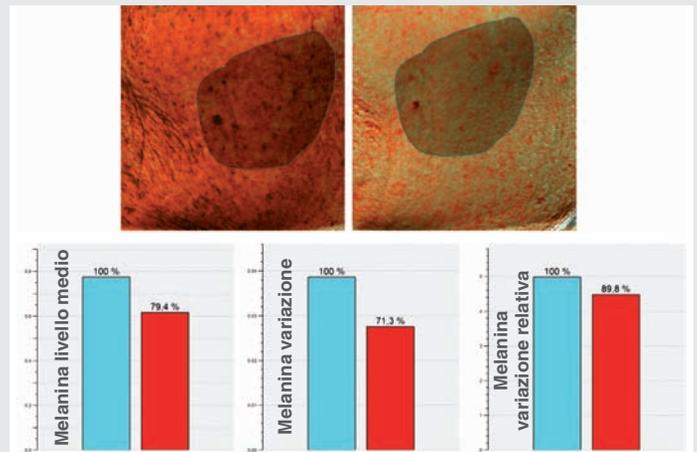
■ Fig. 9: l'analisi matematica della variazione di melanina nel paziente in fig. 7. Il miglioramento della variazione di melanina è stato del 14%



■ Fig. 10: la topografia della guancia del paziente in fig. 7. L'analisi della rugosità prima e dopo il trattamento evidenzia un miglioramento del 12%



■ Fig. 11: una donna di 57 anni prima e 9 mesi dopo un trattamento di ringiovanimento con laser frazionato a CO<sub>2</sub> ultrapulsato



■ Fig. 12: la distribuzione della melanina della paziente in fig. 11, prima e dopo il trattamento. L'analisi matematica dell'area selezionata mostra un miglioramento della variazione di melanina di circa il 30%

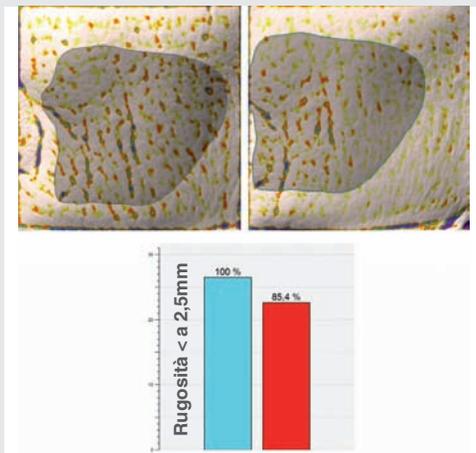
### Resurfacing frazionato ablativo

A metà degli anni Novanta lo sforzo dei ricercatori si concentrò su lunghezze d'onda non ablativo in grado di determinare sintesi di collagene avendo come target specifico l'acqua, senza però determinare ablazione della superficie cutanea (5, 6, 7, 8, 9). Tale sforzo deri-

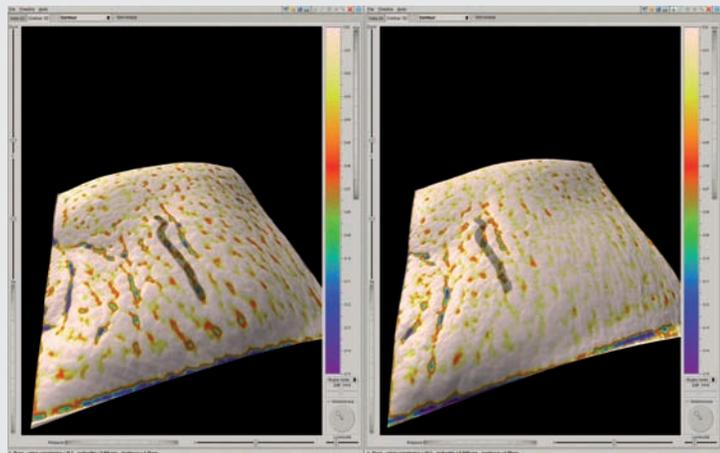
vava dalla necessità di ridurre l'incidenza di effetti avversi (infezioni, alterazioni della pigmentazione, cicatrici) che spesso gravavano i trattamenti eseguiti con laser ablativi. Le lunghezze d'onda sviluppate non furono però in grado di determinare miglioramenti così evidenti come erano in grado di fare quelle precedenti (10, 11,

12, 13).

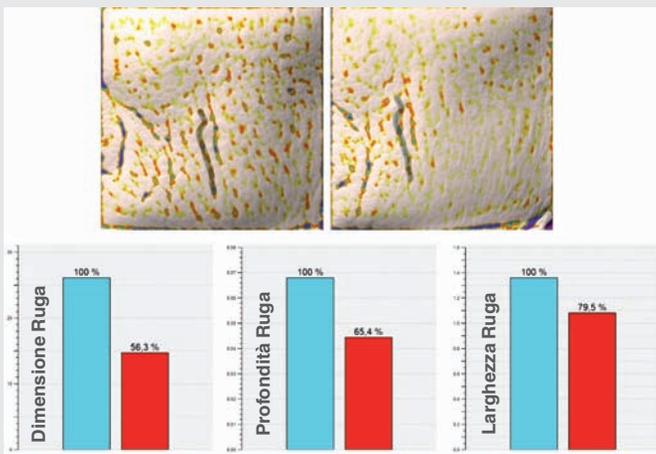
La svolta avvenne nel 2004 quando Mainstein ipotizzò non di cambiare le lunghezze d'onda incidenti la cute, ma il modo con il quale queste vengono emesse e ideò il concetto di "laser frazionato" (14). Se l'energia incidente la cute non ne colpisce il 100% della superficie ma è suddivisa in micro-spot



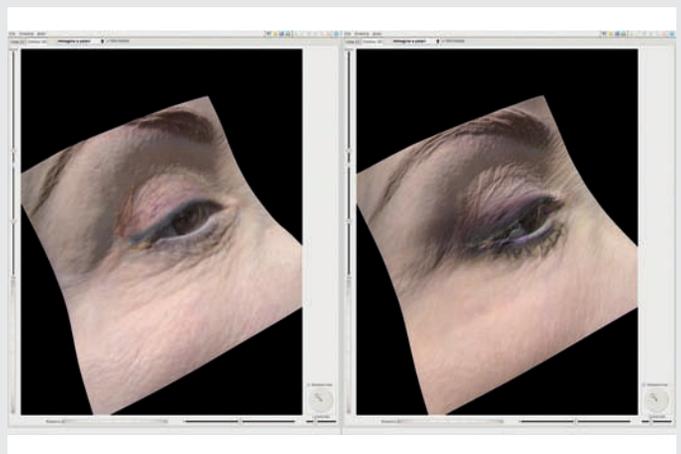
■ Fig. 13: l'analisi matematica della rugosità dell'area mostra un miglioramento del 15%



■ Fig. 14: valutazione in 3D di una singola ruga profonda della guancia sinistra del paziente in fig. 11



■ Fig. 15: l'analisi matematica della profondità di una singola ruga dimostra che il resurfacing frazionale ha determinato un miglioramento in lunghezza, larghezza e profondità in media del 33%



■ Fig. 16: immagini in 3D prima e dopo il trattamento con laser frazionale a CO<sub>2</sub> di una palpebra inferiore

separati uno dall'altro, l'effetto sarà quello di avere delle micro-zone di trattamento separate da dei ponti di cute sana dai quali riparte il processo di guarigione. In tale modo si può essere efficaci, riducendo enormemente l'incidenza degli effetti collaterali.

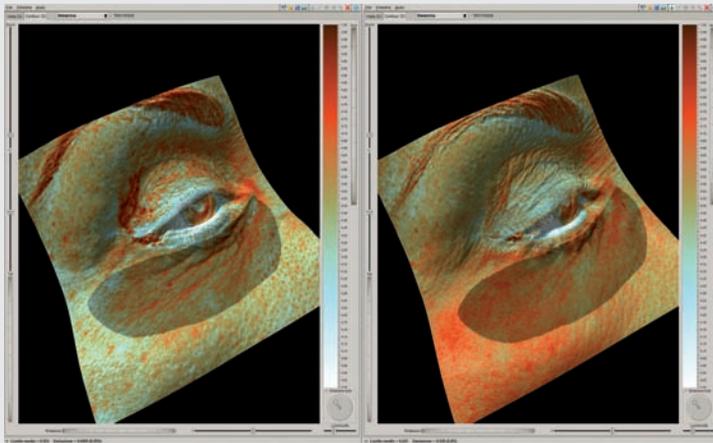
Le prime apparecchiature con emissione frazionata dell'ener-

gia avevano lunghezze d'onda non ablative e creavano colonne di denaturazione dermica nello spessore cutaneo. Queste prime apparecchiature furono ben presto seguite da altri dispositivi con lunghezze d'onda ablative.

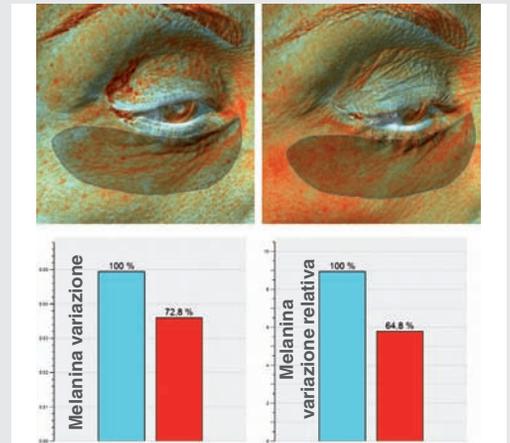
Tra questi, fu prodotto nel 2006 il laser CO<sub>2</sub> ultrapulsato. Il resurfacing frazionale con

questo tipo di apparecchiatura, a fronte di un tempo di recupero di soli 5 giorni, offre risultati veramente notevoli.

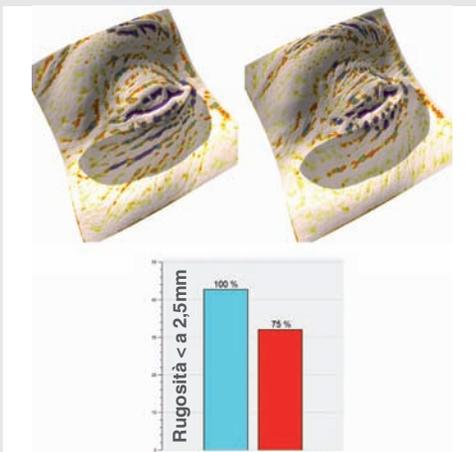
L'aspetto generale del paziente può essere apprezzato attraverso le immagini cliniche (fig. 11), ma usando il sistema Antera 3D il miglioramento nella distribuzione della melamina è più chiaro ed evidente.



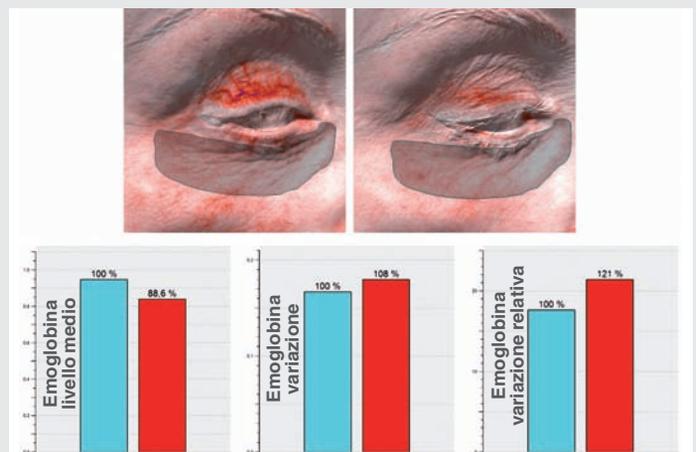
■ Fig. 17: aree del paziente precedente sottoposte ad analisi della melanina



■ Fig. 18: l'analisi matematica della variazione di melanina dimostra come il miglioramento sia stato superiore al 35%



■ Fig. 19: le rughe della palpebra inferiore sono migliorate del 25%



■ Fig. 20: variazione dell'emoglobina nella palpebra mostrata in fig. 16. Una presenza maggiore di emoglobina significa neovascolarizzazione e quindi nuova formazione di collagene

Inoltre, è possibile effettuare un'analisi quantitativa sia della concentrazione media di melanina sia della sua uniformità. Tale analisi fornisce uno strumento importante per la valutazione dell'efficacia del trattamento e facilita la comunicazione con il paziente. (fig. 12). L'analisi della topografia cutanea è entusiasmante. Lo stru-

mento non solo permette di calcolare la rugosità della trama di un'area cutanea estesa (fig. 13), ma anche di valutare la profondità e la larghezza di singole rughe prima e dopo il trattamento (figg. 14-15).

Lo strumento si rivela anche utilissimo nell'analisi di regioni anatomiche limitate (fig. 16). Nelle palpebre inferiori, per

esempio, non solo si possono valutare e calcolare modifiche nella distribuzione di melanina (figg. 17-18), ma si possono ottenere preziose informazioni sul miglioramento delle rughe (fig. 19). L'analisi dell'emoglobina può mostrare inoltre una neovascolarizzazione del tessuto, indice di nuova produzione di collagene (fig. 20).

## Conclusioni

Tutte le procedure estetiche necessitano di un metodo di valutazione oggettivo. I metodi convenzionali di valutazione includono stime soggettive di tipo fotografico e clinico ma tali valutazioni presentano, proprio per la loro soggettività, grandi limitazioni intrinseche di validità. Le analisi computerizzate di impronte di silicone, pur dimostratesi una valida tecnica per misurare la topografia cutanea, sono complesse e non possono certo essere utilizzate durante le attività di tutti i giorni (15). Il sistema Antera 3D presentato in questo articolo fornisce un'analisi quantitativa, accurata, *in vivo* e in tempo reale di parametri chiave per valutare i cambiamenti cutanei di emoglobina, melanina e delle caratteristiche topografiche della pelle e consente inoltre di valutare con certezza l'efficacia dei trattamenti estetici.

Riferimento per contatti

■ Matteo Tretti Clementoni  
[mtretti@laserplast.org](mailto:mtretti@laserplast.org)

**CONFLITTI D'INTERESSE DICHIARATI**  
 NESSUNO

## Bibliografia

- Horn BKP. Obtaining Shape from Shading Information. In: Winston PH, editor. *The Psychology of Computer Vision*. McGraw-Hill (NY): 1975; p. 115-55.
- Method and apparatus for imaging tissue topography. PCT patent application PCT/EP2010/001168, Irish Patent No. S85695. US application serial number, 13/203,005. EP patent application number, 10711832.5.
- Anderson RR, Parrish JA. The optics of human skin. *J Invest Dermatol* 1981;77:13-9.
- Bitter P, Nase GP. Skin rejuvenation for sun damage, aging and rosacea using intense pulsed light. *Lasers in aesthetic surgery*. In: Keller G, Lacombe V, Lee P, et al (editors). New York: Thieme Medical Publishers; 2000. p. 351-7.
- Bernstein LJ, Kauvar AN, Grossman MC, et al. The short- and long-term side effects of carbon dioxide laser resurfacing. *Dermatol Surg* 1997;23:519-25.
- Nanni CA, Alster TS. Complications of carbon dioxide laser resurfacing. An evaluation of 500 patients. *Dermatol Surg* 1998;24:315-20.
- Sriprachya-Anunt S, Fitzpatrick RE, Goldman MP, et al. Infections complicating pulsed carbon dioxide laser resurfacing for photoaged facial skin. *Dermatol Surg* 1997;23:527-36.
- Berwald C, Levy JL, Magalon G. Complications of the resurfacing laser: retrospective study of 749 patients. *Ann Chir Plast Esthet* 2004;49(4):360-5.
- Sullivan SA, Dailey RA. Complications of laser resurfacing and their management. *Ophthal Plast Reconstr Surg* 2000;16(6):417-26.
- Sadick NS. Update on non-ablative light therapy for rejuvenation: a review. *Lasers Surg Med* 2003;32:120-8.
- Williams EF III, Dahiya R. Review of nonablative laser resurfacing modalities. *Facial Plast Surg Clin North Am* 2004;12(3):305-10.
- Grema H, Greve B, Raulin C. Facial rhytides-subsurfacing or resurfacing? A review. *Lasers Surg Med* 2003;32(5):405-12.
- Bjerring P. Photorejuvenation-an overview. *Med Laser Appl* 2004;19:186-95.
- Manstein D, Herron GS, Sink RK, et al. Fractional photothermolysis: a new concept for cutaneous remodeling using microscopic patterns of thermal injury. *Lasers Surg Med* 2004;34(5):426-38.
- Grove GL, Grove MJ, Leyden JJ, et al. Skin replica analysis of photodamaged skin after therapy with tretinoin emollient cream. *J Am Acad Dermatol* 1991;25:231-7.

## RIASSUNTO

### Analisi con scansione ottica 3D in vivo del fotodanno cutaneo

La valutazione oggettiva della texture della pelle e la concentrazione e uniformità dei cromofori cutanei forniscono importanti indicazioni sulla risposta a trattamenti medici e cosmetici e sono dunque di grande importanza per la ricerca dermatologica. Viene presentata una nuova apparecchiatura che, per mezzo di sofisticati software e algoritmi, permette una analisi tridimensionale dell'efficacia dei più comuni trattamenti eseguiti nel fotodanneggiamento cutaneo.

## PAROLE CHIAVE

3D, invecchiamento cutaneo, pelle fotodanneggiata, trattamento laser frazionato, topografia cutanea

## ABSTRACT

### In vivo 3D optical scan analysis of skin photodamage

Topography of the skin surface as well as melanin and hemoglobin concentration and distribution are a mirror of the functional skin status. Changes in these features are an early stage diagnosis tool not only for diseases but also give indication of the response to medical and cosmetic treatment. A new optical precise user-friendly measuring system is presented to demonstrate the effectiveness of the most common laser treatments on photo-damaged skin.

## KEY WORDS

3D, photogaging, fractional resurfacing, skin topography