

# L'evoluzione degli OCT

di Amedeo Lucente

## Brevi note storiche

L'utilizzo della tomografia ottica a radiazione coerente in oftalmologia ha avuto inizio a metà degli anni novanta.

Il primo strumento OCT 1 della Zeiss è del 1995 seguito dalla versione OCT 2 nel 2000.

Per precisione storica, la prima azienda a sviluppare una tecnologia OCT per applicazioni oftalmologiche nel 1992 è stata l'Advanced Ophthalmic Devices (AOD), fondata da James Fujimoto e Carmen Puliafito, inglobata un anno dopo nella ditta Humphrey, a sua volta acquistata dalla Carl Zeiss Meditec che, facendo frutto della ricerca del Massachusetts Institute of Technology, ha lanciato sul mercato oftalmologico la tecnologia OCT, con strumenti sempre più validi e fruibili clinicamente su larga scala.

Tuttavia, poco si conosceva e poco si utilizzava questa metodica prima del grande successo dello Stratus OCT3, terza ed ultima versione degli OCT Time Domain Zeiss, entrato in commercio negli ultimi mesi del 2002.

La prima e la seconda versione degli OCT Zeiss, infatti, hanno avuto una minima diffusione, con poche installazioni, quasi esclusivamente nei centri di ricerca e in qualche università. La definizione di questi primi OCT era poco accattivante iconograficamente e poco fruibile clinicamente, costituendo quasi solo un esame in più, senza raggiungere la valenza e la qualità di risoluzione della terza generazione di OCT Time Domain. La grande diffusione dello Stratus è confermata dai numeri delle installazioni sia in Italia (più di 600), con un'omogenea distribuzione sul territorio nazionale, sia in tutto il mondo, (circa 6000 sistemi OCT Time Domain), andata avanti dal 2003, di pari passo con la conoscenza di questa metodica da parte degli oculisti fino al 2006, anno d'inizio della commercializzazione degli Spectral. (Fig. 1)

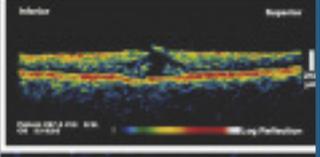
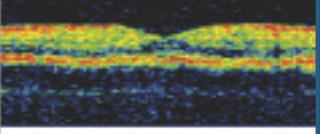
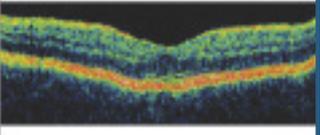
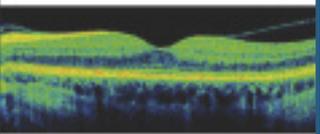
		Single line scan	Scans/secondi	Resolution (microna)	
	OCT 1995	100 A-scans x 500 points	100	20	
	OCT2 2000	100 A-scans x 500 points	100	20	
	OCT3 Stratus OCT 2002	512 A-scans x 1024 points	500	10	
	Cirrus HD-OCT 2007	4096 A-scans x 1024 points	27.000	5	

Fig. 1 - Evoluzione degli OCT Zeiss

## Diagnostica di utilizzo degli OCT

Senza un esame OCT ormai nessuna patologia retinica è affrontabile in fase sia diagnostica che prognostica, per non parlare delle indicazioni alla chirurgia retinica in generale e vitreoretinica in particolare, che vede oggi l'esame tomografico al primo posto nelle richieste d'accertamento strumentale.

L'altro campo d'utilizzo sempre più frequente della tomografia è lo studio dello spessore delle fibre ottiche e della morfologia della papilla, soprattutto per decidere se un'ipertensione oculare sta acquisendo le caratteristiche di un vero glaucoma, noti gli studi dell'OHTS che suggeriscono una terapia medica senza attese, nei casi di soggetti ipertesi con fattori di rischio quali uno spessore corneale basso o un Cup-Disk alto.

La prima ditta ad aver introdotto la tecnologia Fourier Domain in uno strumento OCT è stata nel 2006 l'Optovue Inc., con relativa approvazione da parte della FDA, ottenendo indagini tomografiche 65 volte più veloci dello Stratus e con una risoluzione due volte maggiore.

La tecnologia Spectral o Fourier Domain ha soppiantato ormai la Time Domain, anche se lo Stratus, ancora in commercio, continua a rappresentare lo strumento

tomografico di riferimento, considerata l'ampia mole di lavori scientifici pubblicati con questo OCT. Le aziende che ad oggi sono entrate con un loro prodotto nel campo dei nuovi OCT sono:

- Optovue Inc,
- Topcon Medical System,
- Heidelberg Engineering, OPKO (ex Oftalmica Technologies Inc),
- Tomey Corp.,
- Optopol Technology SA,
- Nidek Corp.,
- Carl Zeiss Meditec AG.

Negli Stati Uniti l'uscita di tutti questi nuovi strumenti Spectral ha determinato una crescita di oltre il 30% delle vendite in questo settore, anche se ora la crisi economica sta producendo un generale rallentamento delle vendite degli strumenti medicali in genere, che si prevede continui anche nei prossimi due o tre anni.

Gli OCT, in ogni modo, potranno godere sicuramente di un certo vantaggio sul mercato, perché sono una tecnologia non invasiva, tenuto anche conto della comprovata tendenza della popolazione all'invecchiamento, e del conseguente aumento delle patologie correlate all'età.

L'aumentata velocità d'acquisizione degli A-scan con gli Spectral Domain sta alla base della migliore definizione delle immagini topografiche di questa nuova generazione di OCT insieme al fatto che, con la rapidità d'esecuzione raggiunta, si possono azzerare del tutto o quasi gli artefatti dovuti ai movimenti del paziente presenti nei Time Domain (si calcola una riduzione di circa trenta volte), ulteriore motivo per un sostanziale miglioramento della qualità finale dell'immagine tomografica.

Gli A-Scan sono passati, infatti, da 400 fino ad oltre 50000 acquisizioni al secondo, mentre i B-Scan sono passati da 1,5 a 25 acquisizioni B-Scan al secondo, con notevoli differenze tra i vari modelli.

Questa velocità d'acquisizione è resa possibile per tutta una serie di motivi tecnici, che vede nella fissità degli specchi di riferimento l'elemento più importante. La luce emessa da un diodo superluminescente, con variabile lunghezza d'onda tra 820 e 870 nm, è divisa in due cammini o bracci, uno d'esplorazione ed uno di riferimento.

Mentre gli OCT Time Domain sono caratterizzati da un meccanismo in cui il percorso della luce è misurato da specchi in movimento, gli Spectral Domain hanno specchi fissi. Questo permette di aumentare la velocità del sistema spectral e di arrivare a migliori definizioni tissutali, anche per mezzo dell'annullamento delle aber-

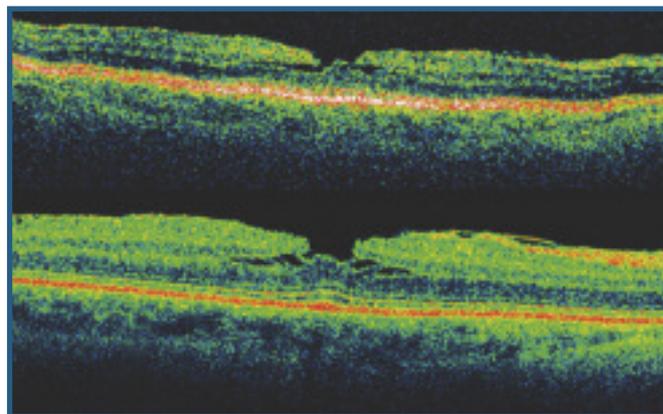


Fig. 2 - Foro Maculare con TIME e Spectral Domain Zeiss

razioni ottiche di movimento, con un guadagno finale di definizione nel tessuto esaminato.

Lo stimolo propulsivo delle industrie nei confronti di queste nuove tecnologie è determinato principalmente dal fatto che l'analisi tomografica retinica è fortemente eye-catching sotto il profilo iconografico e straordinariamente convincente e di immediata utilità dal punto di vista clinico.

Molte patologie retiniche sono state meglio comprese e dettagliatamente determinate nella loro fisiopatologia con l'uso di tale metodica.

Ci riferiamo ad esempio al foro maculare (Fig. 2), alle membrane epiretinali, alle trazioni vitreali misconosciute che si riscontrano nella miopia elevata, o ancora alla sindrome dell'interfaccia vitreoretinica.

Tutte queste patologie hanno subito una profonda riconsiderazione clinica e terapeutica, tanto da far modificare totalmente ciò che si dava per acquisito, ma non provato, e che ora l'indagine tomografica svela, mette a fuoco chiaramente e prova con le immagini che fornisce, con misure e mappe confrontate a data-base di riferimento e con le linee in scala dei grigi del tessuto scandagliato, immagini che sempre più si avvicinano a veri e propri preparati istologici.

Inoltre, l'indagine sulle fibre ottiche riservata inizialmente solo al GDX o all'HRT diviene ora anche possibile con l'interferometria a coerenza ottica. I dati anatomici sul nervo ottico sempre più affiancano, di routine, quelli del campo visivo e della foto della papilla, magari stereoscopica, nella diagnosi e nel follow-up del paziente iperteso oculare e/o glaucomatoso.

Inizialmente l'OCT Stratus era quasi esclusivamente utilizzato per la patologia retinica ed in particolare maculare, ora invece, sempre più spesso, pazienti ipertesi oculari e/o glaucomatosi sono indagati con questa metodica, indispensabile ed essenziale nella diagnosi e nel follow-up del glaucoma, per i dati oggettivi che fornisce, sia sullo spessore delle fibre che sul disco ottico.

Attualmente la percentuale di utilizzo personale delle Stratus si divide equamente (50/50%) tra retina ed ipertensione/glaucoma.

I printout di tutti gli strumenti usciti sul mercato prendono in attenta considerazione le fibre nervose e la morfologia della papilla, permettendo il confronto con data-base di riferimento di soggetti normali. Ogni strumento possiede ormai questa possibilità di confronto come un valore aggiunto. (Fig. 3)

Il paragone dell'esame effettuato con quello di pazienti sani per età, razza e sesso, consente di consentire in modo più precoce di separare i casi patologici dai sani, molto più sensibilmente e precocemente, facendo emergere i segni iniziali del viraggio dai parametri fisiologici.

Sia il GDx nell'ultima versione "pro" con tecnologia a polarimetro a scansione laser (780nm), sia l'HRT nella versione "tre", con tecnologia ad oftalmoscopia confocale a scansione laser (670nm), hanno un'ottima sensibilità e specificità nell'individuare i glaucomi iniziali, simile all'OCT; l'OCT però permette tutta l'indagine retinica, che non è possibile né con il GDx né con l'HRT, dedicati strettamente alla papilla ottica ed alle fibre nervose. Tuttavia, per essere precisi, l'HRT 3, nell'ultima versione, può prevedere tre moduli:

- il modulo glaucoma con il Glaucoma Probabilità Score (GPS) che permette di evidenziare l'evoluzione del danno delle fibre nel tempo;
- il modulo retina che permette di quantificare lo spessore in modo settoriale al polo posteriore della retina;
- il modulo cornea che permette di avere un valore pachimetrico ed una visione microscopica dell'endotelio, senza arrivare naturalmente alla definizione della microscopia confocale.

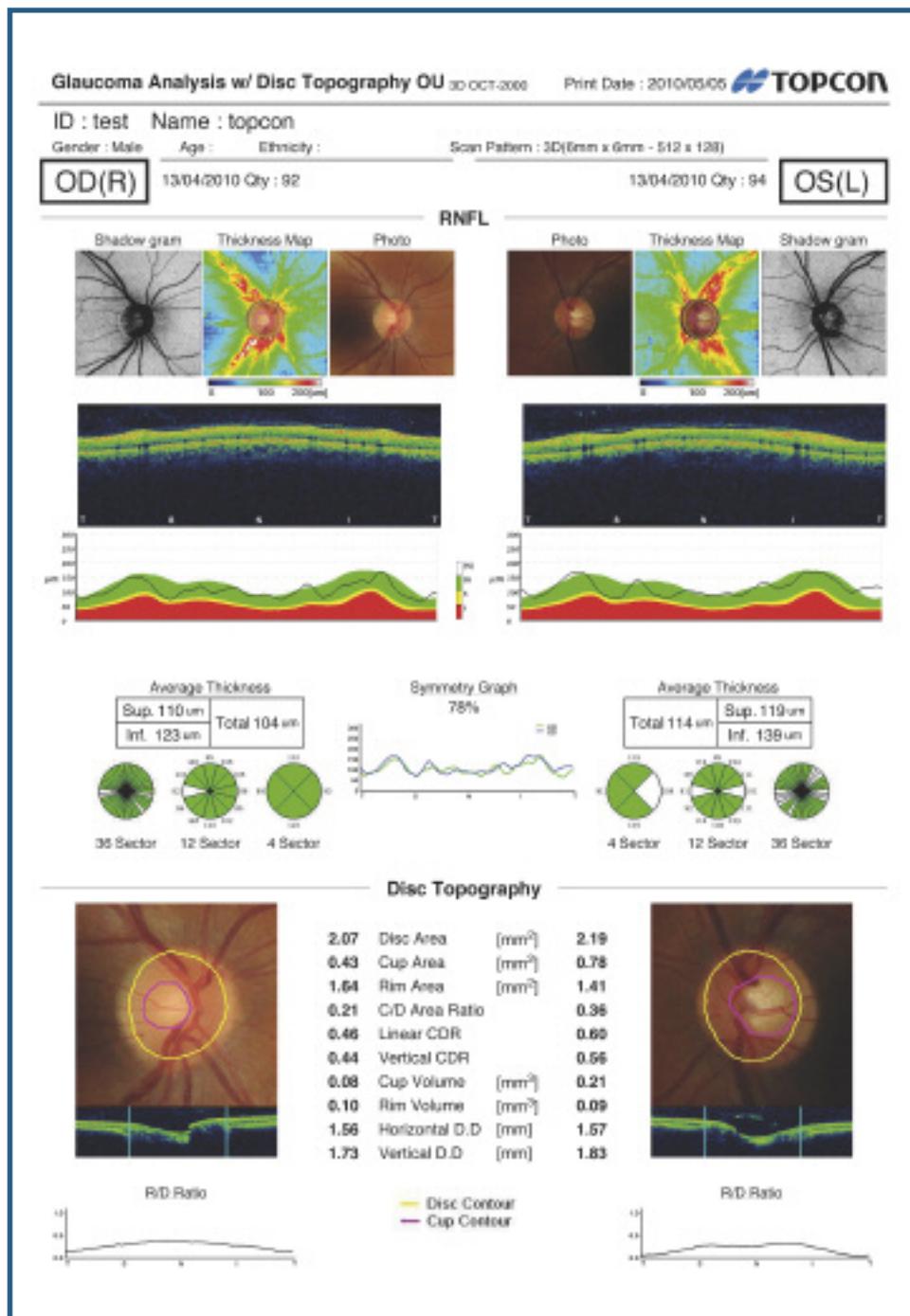


Fig. 3 - Printout Topcon 2000 fibre e nervo ottico

L'indagine anatomica tomografica Spectral Domain dà però la possibilità di arrivare a determinare, in modo dettagliato, l'intima struttura degli strati interessati dalle patologie in analisi: nessuna altra tecnologia ad oggi può offrire queste prerogative, permettendo, di fatto, un'immagine istocitologica delle strutture corioretiniche.

In particolar modo nelle maculopatie, è evidenziata ed esaltata la dinamica fisiopatologica della retina esterna, specie i rapporti dell'EPR con i coni ed i bastoncelli, con il risultato che ogni minimo cambiamento delle strutture citologiche di questi strati retinici è rilevato e meglio evidenziato.

La membrana limitante esterna, individuata ora dagli Spectral in modo più preciso da una tenue ma distinta iperriflettenza, che fa da “cravatta” ai nuclei dei coni e bastoncelli e la giunzione tra il segmento interno (IS) ed esterno (OS) dei fotorecettori, più iperiflettente ed esterna della prima, corrispondente alla strozzatura dei segmenti esterni, sono strutture di familiare riscontro nelle sezioni degli Spectral Domain e punti di repere diagnostico.

La suddivisione tra retina esterna ed interna, tracciata idealmente dallo strato plessiforme interno, non è solo un’esigenza schematica, ma risponde ad una più accorta visione fisiopatologica degli strati retinici (Fig. 4).

La retina esterna, maggiormente coinvolta nella patologia dell’EPR e quindi nelle maculopatie viene più dettagliatamente visionata e scomposta nei suoi distinti strati, mentre la retina interna, principalmente interessata nella patologia a carico delle fibre ottiche ed in prima istanza nel glaucoma, viene misurata nei suoi spessori, con la possibilità di individuare prima un loro eventuale danno.

Del resto la massa delle informazioni che i nuovi OCT mettono a disposizione ha avuto bisogno di un certo periodo di analisi e di revisione retrospettiva per acquisire valenza scientifica. Dai numerosi dati ottenuti comincia ad emergere che lo spessore delle cellule ganglionari sta acquistando sempre più interesse nello studio della patologia glaucomatosa come indice sensibile di danno precoce allo stress pressorio endoculare. In particolare, lo spessore del complesso delle cellule ganglionari con le fibre ottiche e lo strato plessiforme interno (Complesso delle Cellule Ganglionari GCC), corrispondente alle sinapsi delle bipolari con le ganglionari, potrebbe essere il parametro più sensibile da misurare, nel dimostrare un danno incipiente da ipertono oculare (Fig.5). La diminuzione dello spessore del GCC promette d’essere, se convalidato, il primo segno per evidenziare un incipiente danno assonale.

Sono tali e tanti i particolari svelati ed emergenti dall’indagine tomografica Spectral che anche il referto finale deve essere reimpostato rispetto allo Stratus: è ne-

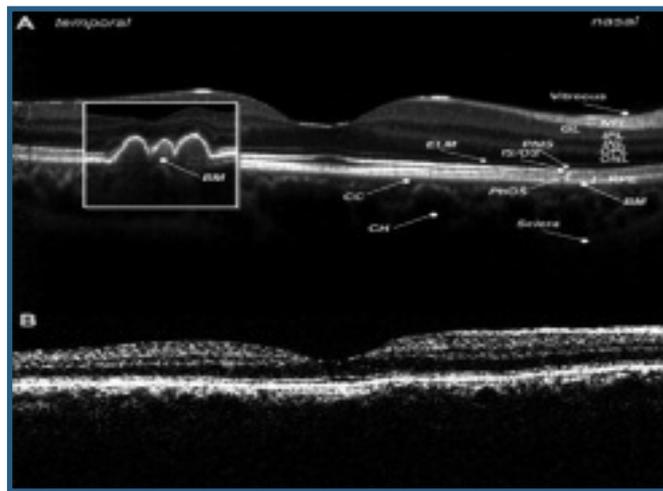


Fig. 4 - Linee Spectral e Time Domain della Macula

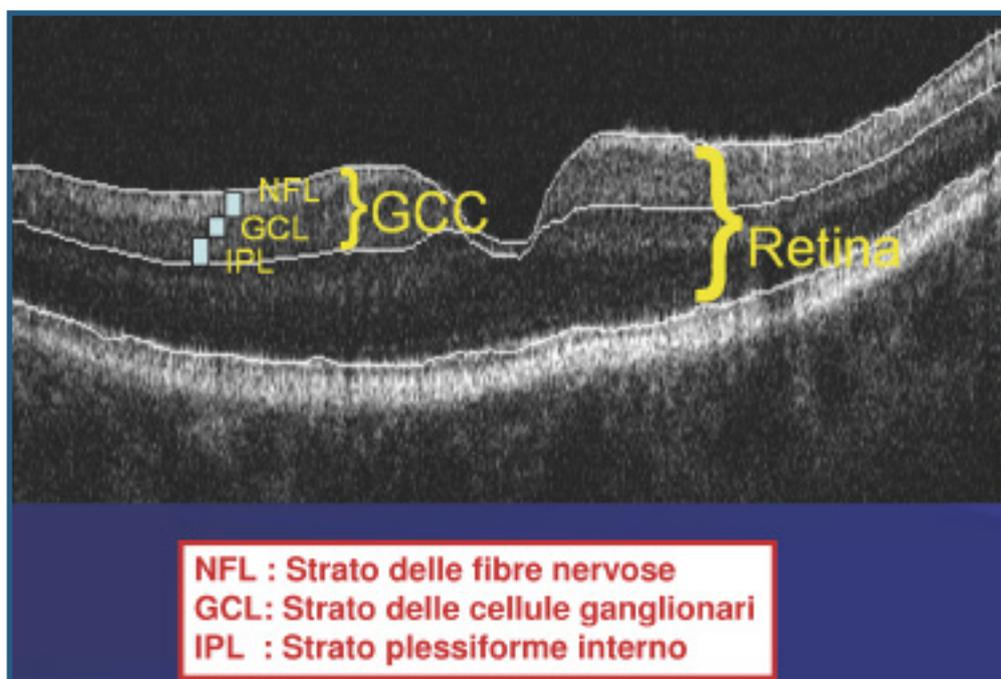


Fig. 5 - Strato GCC dell'Optovue

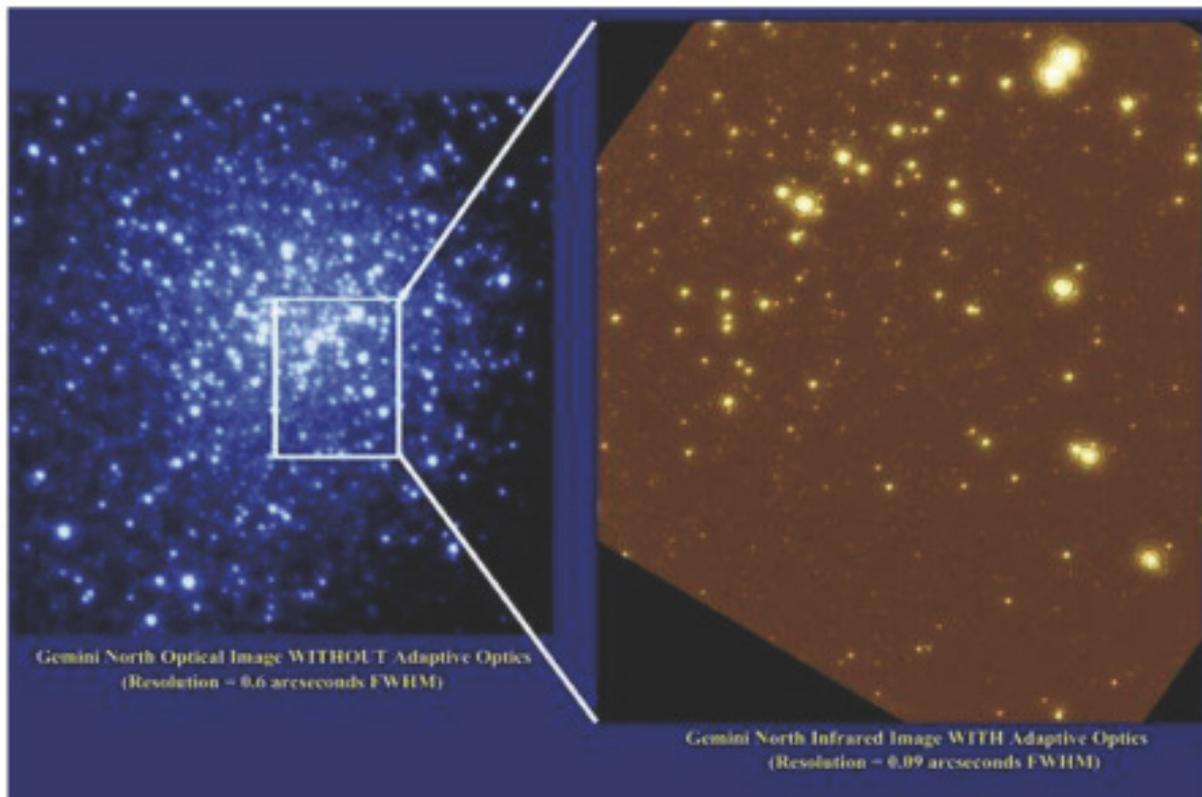
cessaria una nuova terminologia, per dare il giusto risalto ai dati emersi e per le evidenze, non più morfologiche e quantitative ma citologiche e qualitative.

Dalla dimensione anatomica si scende così alla definizione istologica e cellulare. La possibilità, infine, di avere con lo stesso strumento immagini bi e tridimensionali anche del segmento anteriore renderà questi strumenti utilizzabili per molta parte della patologia bulbare, a tutto campo.

Questi nuovi OCT sono quindi una vera postazione diagnostica, indispensabili nella diagnosi e nel follow-up di molta patologia oculare.

Per la molteplicità dell’offerta degli OCT e per la varietà delle possibilità d’indagine che i nuovi software permettono, è oltremodo opportuno che la nostra pre-

# Ottica Adattiva



**Un immagine dell'ammasso globulare NGC 6934 ripreso senza (a sinistra) e con (a destra) l'uso di un sistema di Ottica Adattiva ripreso dal [Gemini North](#).**

*Fig. 6 - Ammasso globulare NGC 6934 ripreso senza (a sx) e con (a dx) l'uso di sistema di Ottica Adattiva dal Gemini North.*

parazione, non solo culturale, sia sempre meno approssimativa.

Questa formazione tecnologica dovrà essere acquisita in modo autonomo dalla maggior parte degli oculisti già formati, auspicando che in sede universitaria e nei corsi di specializzazione si dia più ampio spazio a corsi informatici ed alle lingue straniere, indispensabili per una conoscenza a 360 gradi.

## Il Futuro degli OCT e gli Spectral attuali

Il futuro degli OCT va verso un ulteriore miglioramento della definizione dei particolari strutturali, con possibilità di scansioni coroidali e con la possibilità di un'indagine vascolare non invasiva, tramite l'ausilio dell'ottica adattiva. L'Ottica Adattiva o Adattativa (AO) è una tecnologia che consente di migliorare la qualità di un sistema ottico, agendo attivamente sul fronte d'onda del fascio luminoso, con la correzione dei disturbi in-

dotti dal sistema stesso a causa, per esempio di disallineamenti, microvibrazioni trasmesse all'apparato, ottiche non perfette, effetti di calore, o turbolenze atmosferiche.

L'ottica attiva, invece, è una tecnologia utilizzata nei moderni telescopi astronomici e in strumenti simili per avere superfici ottiche (in genere specchi) di grande precisione.

Spesso si ingenerano confusioni tra queste due tecnologie. L'ottica attiva lavora aggiustando "attivamente" la forma degli specchi dei telescopi per mezzo di attuatori, che permettono alle ampie superfici di essere stabili, nonostante il peso e la turbolenza degli eventi atmosferici. Questa tecnica è utilizzata, per esempio, dal Nordic Optical Telescope, dal New Technology Telescope, dal Telescopio Nazionale Galileo e dai Telescopi Keck, così come dai più grandi telescopi del mondo costruiti nell'ultima decade. Sia l'ottica attiva che l'adat-

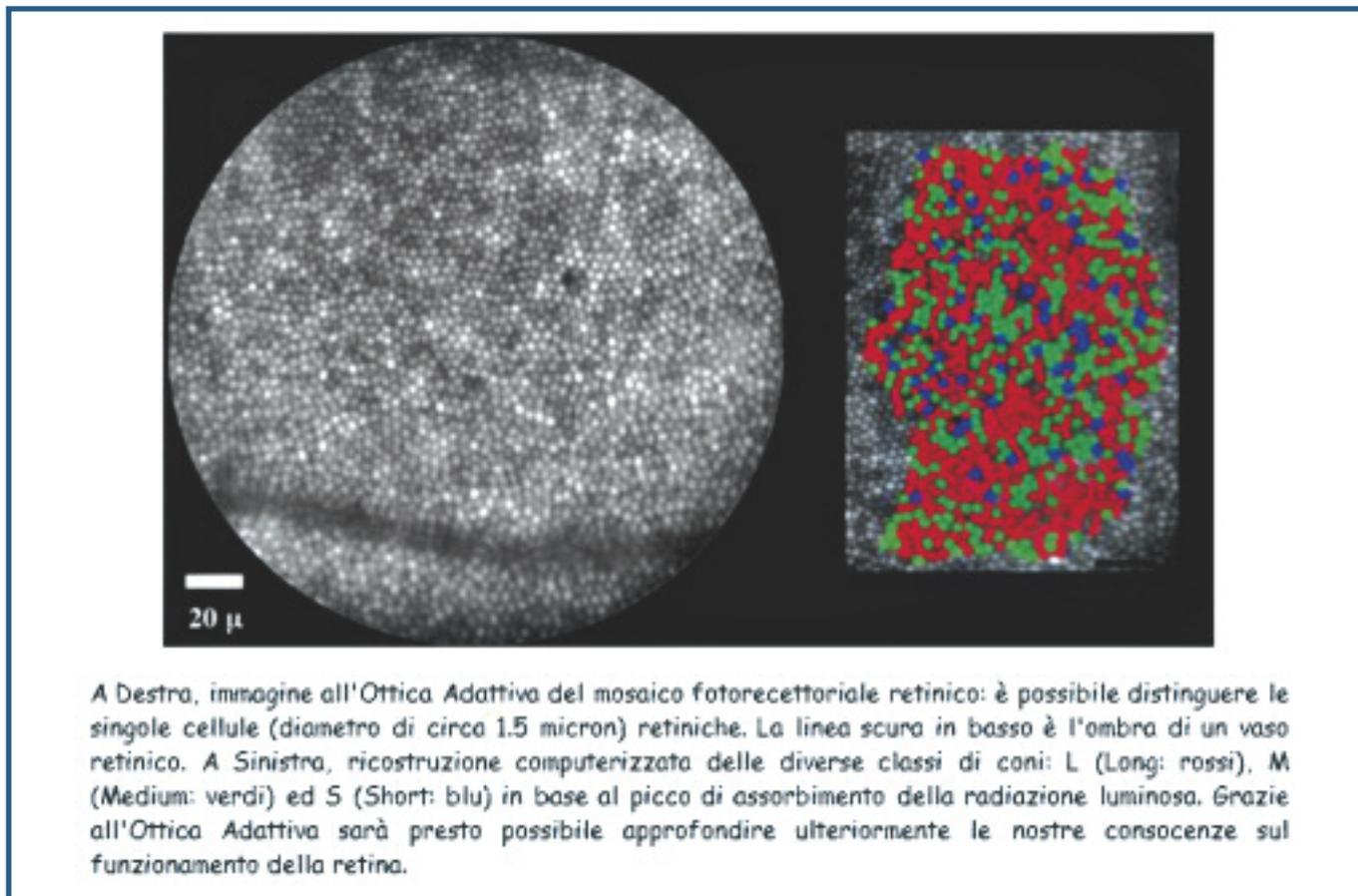


Fig. 7 Visione cellulare dei fotorecettori

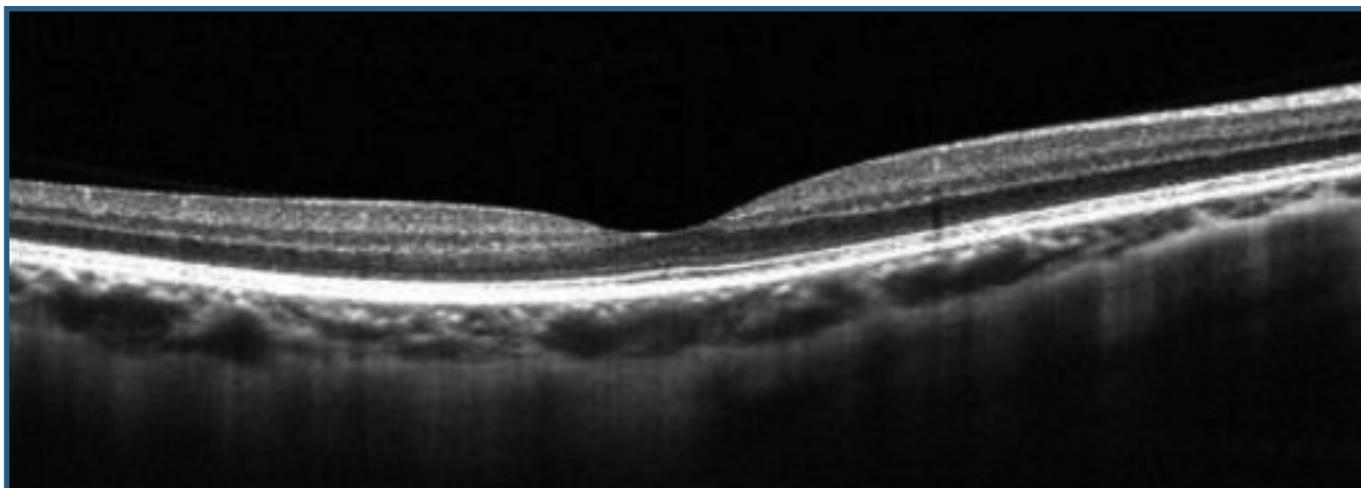


Fig. 8 Line macula con visione della croide

tiva possono coesistere con aumento della qualità delle immagini. L'ottica adattiva in particolare, introdotta per la prima volta nel 1953, usata in molti campi, dalle macchine industriali agli apparati medicali, è stata sviluppata, com'è stato detto, originariamente in astronomia per rimuovere l'effetto delle turbolenze atmosferiche dalle lenti telescopiche, migliorando la qualità delle immagini stellari. Lo sviluppo tecnologico e l'estensione dell'ottica adattiva verso altre applicazioni,

tra cui l'Oftalmologia, è dipeso soprattutto dagli investimenti militari e dalla "declassificazione" di gran parte delle informazioni segrete in materia di difesa, avvenuta nel 1992. (Fig. 6)

In questo momento la tecnologia dell'ottica adattiva è in fase avanzata di sviluppo di maturazione e di standardizzazione commerciale, con un ampio margine di miglioramento, soprattutto per quanto riguarda l'adattabilità agli strumenti medicali, anche dal punto di vista economico.

# Anatomia retinica all'OCT Spectral Domain

Risoluzione Assiale 3/5  $\mu\text{m}$

Risoluzione Trasversale 12/20  $\mu\text{m}$

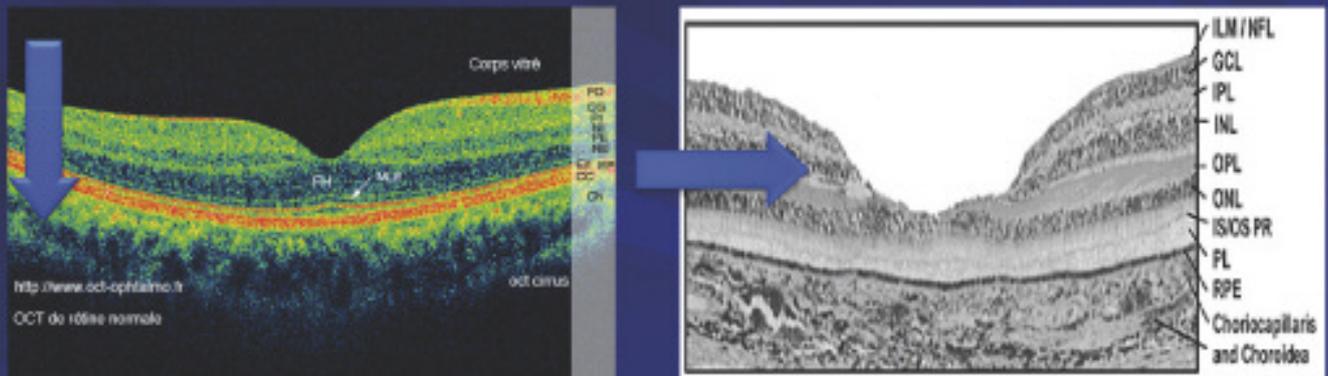


Fig. 9 - Definizioni OCT

La storia dell'ottica adattiva in Oftalmologia è abbastanza recente: il primo sistema è stato progettato all'Università di Rochester (USA) nel 1996, con la chiara dimostrazione della potenzialità di tali sistemi nel correggere non solo le aberrazioni di basso, ma anche quelle d'alto ordine. Le immagini del fondo oculare fornite dai primi strumenti dotati di ottica adattiva hanno mostrato una risoluzione straordinaria, mai raggiunta prima: è stato, infatti, possibile osservare il mosaico fotorecettoriale foveale, con la chiara distinzione della superficie dei segmenti esterni dei coni. (Fig. 7)

Con una migliorata qualità delle ottiche, che azzerranno ogni aberrazione luminosa nel percorso all'interno del bulbo oculare, sarà possibile ottenere più qualità e dinamicità di risultati, una visione quasi citologica della struttura corioretinica; inoltre, non è azzardato prevedere la possibilità di una valutazione anche emoreologica.

L'aumentata qualità di risoluzione di questa nuova generazione di OCT consentirà, in un futuro prossimo, di varcare il limite dell'EPR ed arrivare alla corioide, segmento anatomico semeiologicamente poco conosciuto,

indagato solo in parte dall'esame ICG e dall'ecografia B-Scan.

La qualità migliorata delle ottiche adattive sarà inoltre capace di risolvere anche il limite attuale della risoluzione laterale o trasversale degli OCT Spectral. (Fig. 8) La risoluzione assiale in profondità nel tessuto è infatti arrivata ad una soglia di 2- 3 micron, sufficiente per la discriminazione cellulare della maggior parte delle strutture retiniche, mentre, si dovrà lavorare ancora molto sulla risoluzione trasversale, invariata attualmente e molto meno soddisfacente, con valori tra 12 e 20 micron, che escludono la possibilità di individuare le singole cellule. (Fig. 9)

Studi in tale direzione sono svolti presso l'Università dell'Indiana in collaborazione con il Lawrence Livermore National Laboratory.

Utilizzando un sensore di Shack-Hartmann ed un correttore del fronte d'onda con un'ottica deformabile, questo gruppo di ricercatori sta portando avanti a grandi passi la ricerca in questo settore, con la messa a punto anche di un software che consente di contare automaticamente, per ogni campo d'esame, i fotorecettori,



Fig. 10 - Panoramica degli OCT Spectralis

avendo progettato un dispositivo OCT-AO (OCT con ottica adattiva) con una risoluzione di 2-4 micron, limite risolutivo sufficiente per la quasi totalità dei coni e bastoncelli.

Questo progetto di ricerca è finanziato dal Centro NSF per le ottiche adattive con sede all'Università di Santa Cruz in California.

L'EPR è a stretto contatto con i segmenti esterni dei fotorecettori, tanto che insieme costituiscono un'unica unità morfo-funzionale. E' stato ampiamente dimostrato come senza le cellule dell'EPR il fotorecettore non può sopravvivere, e cade velocemente nel processo degenerativo dell'apoptosi. La funzione dell'EPR è principalmente quella di regolare il normale turnover dei segmenti esterni dei fotorecettori, fagocitandoli se invecchiati o non funzionanti. La diagnosi precoce ed il trattamento dei disturbi retinici sono stati, fino a pochi anni fa, in gran parte ostacolati dall'impossibilità di visualizzare le strutture microscopiche nell'occhio umano vivente. In molti casi la patologia retinica è rilevata spesso solo dopo la comparsa di danni ormai irreversibili. La diagnosi precoce e l'appropriato trattamento sono

fondamentali per il mantenimento della visione; ciò comporta la necessità di sviluppare strumenti sensibili ai cambiamenti specifici, proprio come la perdita dei fotorecettori e le modifiche dell'EPR. L'aumento del contrasto e del potere di risoluzione offerto dalle ottiche adattive agli OCT Spectral è in grado di raggiungere questo scopo. Gli Spectral già ora s'inoltrano nella coroide, evidenziando, in modo preciso i vasi di Haller e Sattler e lo spazio sopracoroideale fino alla sclera.

La possibilità di superare con migliore risoluzione l'EPR, utilizzando le ottiche adattive, permetterà in modo più dettagliato lo studio della coroide, con la possibilità di avere risposte più precise sulle membrane neovascolari in formazione, oltre che sulle alterazioni vascolari retiniche per patologie sistemiche.

Il tessuto coroideale presenta la più estesa vascolarizzazione per millimetro quadrato di tessuto dell'intero corpo umano, superando notevolmente sia il muscolo cardiaco sia ogni altro distretto, compreso quello retinico. La possibilità di indagare in modo non invasivo tale distretto, anche dal punto di vista emodinamico, aprirà quindi sicuramente la strada verso nuove frontiere di

## SD OCT : seconda generazione o evoluzione?



**SD OCT Copernicus HR**



**I Vue Optovue  
portatile**



**OCT, OCTplus, OCTplus Bluepeak  
HRA Bluepeak, HRA+OCT Bluepeak**



**3D OCT 2000 Spectral Topcon**  
touch screen da 8.4" OCT: Auto focus/auto  
pol/auto Z; Fundus: Auto focus/auto shoot

### Spectralis OCT Heidelberg:

- 1) Immagini rossoprive (red-free by blue wavelength: fibre ottiche)
- 2) Immagini all'infrarosso (infrared 820nm: cataratta EPR)
- 3) Angiografia con fluoresceina
- 4) Angiografia ICG
- 5) Autofluorescenza bluepeak (laser blue)
- 6) OCT periferico+ imaging a grande campo

Fig.11 - Evoluzione di alcuni modelli di OCT SD

conoscenza.

Si studiano sistemi OCT-OA doppler, e la tomografia a coerenza è già entrata da qualche tempo nello strumento emodinamico cardiovascolare ed internistico, per un fine studio delle placche ateromasiche e della parete dei vasi.

Probabilmente l'uso delle ottiche adattive sarà attuato in modo complementare all'indagine tomografica spectral domain, come possibilità aggiuntiva per sezioni ponderate di tessuto tomograficamente già indagato, come indagine suppletiva d'approfondimento morfofunzionale. La possibilità futura di avere dei data base di riferimento darà infine la possibilità di confronti morfologici più serrati tra il normale ed il patologico, anche per lo studio della coroide, capitolo in parte nuovo per questa metodica ed anche per noi oculisti.

Con gli OCT Spectral Domain si riapre, ancora una volta, il confronto culturale sulla validità clinico-diagnostica tra il dato strutturale e quello funzionale, tra il rilievo morfologico e quello fisiologico, tra il dato oggettivo e quello soggettivo, nell'indagine precoce e nel follow-up delle affezioni oculari con mezzi stru-

mentali.

Con gli OCT Spectral forniti di ottiche adattive questo confronto potrà forse finalmente trovare una risoluzione unitaria, con l'armonizzazione tra i dati funzionali ed emodinamici, quelli istologici e ultrastrutturali.

Ritornando agli OCT in questo momento in commercio si possono notare alcune peculiarità specifiche: l'OCT dell'OTI permette, per esempio, un'indagine microperimetrica contestualmente all'esame OCT; l'OCT 3D 2000 Topcon, permette una buona retinografia a colori nel printout di stampa, da fine 2010 anche in due versioni, FA con fluoro e FA+, con autofluorescenza, 50000 A Scan al secondo e software per conteggio delle drusen; lo Spectralis Heidelberg consente foto della retina in autofluorescenza nella versione Bluepeak e l'esecuzione anche di angiografie con fluoro e/o indocianina nella versione HRA-OCT; l'Optovue permette un'indagine dello spessore degli strati interni GCC, specifico per il glaucoma con un data base di riferimento; il Cirrus della Zeiss, ora disponibile in due versioni 4000 e 400, possiede il data base più

valido, confrontabile con quello dello Stratus, e consente un'indagine confidenziale, con il paziente posto a lato dell'operatore, oltre ad essere molto veloce; il Copernicus è disponibile in due versioni, quella base e quella HR ad alta risoluzione, venendo incontro alle esigenze economiche dei più giovani; il Nidek RS 3000, ultimo nato nella famiglia degli OCT Spectral, è compatto come un autorifrattometro e veloce fino a 53000 A scan/sec. (Fig. 10 e 11).

La velocità d'indagine raggiunta e l'ergonomicità di questi nuovi OCT quasi invogliano ad allargare questo esame a tutta la platea dei pazienti "over cinquanta", magari in occasione della comparsa di un distacco del corpo vitreo, il che varrebbe come archivio di immagini, utile nel tempo ed in retrospettiva, quando una patologia si instaurerà ormai in modo conclamato. Lascio ad altre fonti più autorevoli decidere se questa strada è giustificata clinicamente, economicamente ed eticamente, ma penso si affermerà in futuro.

Quante volte si esegue un OCT con un intento e si trova una membranella epiretinica assolutamente misconosciuta, o la destrutturazione dell'IS/OS o del-

l'EPR in fovea, senza segni clinici e/o oftalmoscopici di sorta?

## Conclusioni

La strumentazione OCT Spectral Domain attuale permette una qualità d'immagine molto elevata ed iconograficamente molto avvincente, con un livello diagnostico di tutto rilievo e di alta risoluzione.

L'avvento dell'ottica adattiva permetterà altre straordinarie possibilità di immagini, rendendo ancora più affascinante e futuristica la nostra disciplina, e l'indagine tomografica ancor più in primo piano, nel panorama strumentale oftalmologico.

Il problema sarà il costo delle ottiche adattive. Indiscrezioni di corridoio indicano costi tra i 15 e i 25 mila dollari, in aggiunta naturalmente al prezzo base dello strumento.

Speriamo che la diffusione e la concorrenza industriale possano mitigare tali costi, per poter usufruire presto e diffusamente di tale affascinante novità tecnologica nei nuovi OCT. ■

## BIBLIOGRAFIA

1. SitiWeb sugli OCT : Optics Express et Optical Coherence Tomography News 14, 3345-3353 (2006) <http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=oe-14-8-3345>
2. Bruno Lumbroso, Marco Rispoli. Guida all'interpretazione di un OCT Spectral Domain. Editore I.N.C. Innovation-News-Communication. 2009
3. W. Drexler, J.G. Fujimoto State-of-the-art retinal optical coherence tomography. Prog Retin Eye Res 2007 Aug 1
4. R. Huber, D.C. Adler, J.G. Fujimoto Buffered Fourier domain mode locking: unidirectional swept laser sources for optical coherence tomography imaging at 370,000 lines/s, Opt. Lett. 31,2975-2977 (2006)
5. L. Froehly, M. Ouadour, L. Furfaro, Patrick Sandoz, P. Leproux, G. Huss, V. Couderc Spectroscopic OCT by grating based temporal correlation coupled to optical spectral analysis Hindawi Publishing Corporation (<http://www.hindawi.com>)
6. D. Merino, C. Dainty, A. Bradu, and A. G. Podoleanu, "Adaptive optics enhanced simultaneous en-face optical coherence tomography and scanning laser ophthalmoscopy," Opt. Express 14, 3345-3353 (2006) <http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=ol-33-1-22>
7. M. Pircher, R. J. Zawadzki, J.W. Evans, J. S. Werner, and C. K. Hitzenberger, "Simultaneous imaging of human cone mosaic with adaptive optics enhanced scanning laser ophthalmoscopy and high-speed transversal scanning optical coherence tomography," Opt. Lett. 33, 22-24 (2008) <http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=ol-33-1-22>
8. M Paques, M Simonutti, M J Roux, C Bellman, F Lacombe, K Grieve, M Glanc, Y LeMer and J-A Sahel High-resolution imaging of retinal cells in the living eye, Eye (2007) 21, S18-S20; doi:10.1038/sj.eye.6702882
9. D. Huang, E.A. Swanson, C.P. Lin, J.S. Schuman, W.G. Stinson, W. Chang, M.R. Hee, T. Flotte, K. Gregory, C.A. Pulifito, and J.G. Fujimoto, "Optical coherence tomography," Science 254, 1178-1181 (1991)
10. Schuman JS, Puliafito CA, Fujimoto JG. Optical Coherence Tomography of ocular diseases. Slack Inc. Thorofare, NJ, 2004.