



## L'ASTRONOMIA QUANTISTICA PATAVINA

di Cesare Barbieri\*

Agli inizi del XXI secolo, l'Osservatorio Astronomico Europeo (ESO) avviò lo studio di un gigantesco telescopio di diametro di ben 100 metri, detto OWL (OwerWelmingly Large Telescope), da costruire sulle Ande cilene<sup>1</sup>. Un semplice calcolo ci dimostrava che il numero di quanti di luce provenienti da una stella brillante e raccolti da una apertura così grande è davvero enorme. Per fissare le idee, dalla stella Vega riceviamo, nel visibile e su una banda passante di appena un nanometro, circa un miliardo di fotoni al secondo per ogni metro quadrato. L'enorme flusso luminoso al fuoco di OWL ci dava la speranza di poter rivelare effetti quantistici anche nella luce stellare. Per una felice coincidenza, proprio in quel periodo, un giovane astrofisico veneziano, Fabrizio Tamburini, ci fece conoscere Anton Zeilinger (Università di Vienna, Presidente dell'Accademia delle Scienze austriaca, premio Nobel per la Fisica nel 2022) e Bo Thidé, dell'Accademia delle Scienze svedese. I due fisici ebbero influenza decisiva nei nostri lavori, tesi ad applicare alle osservazioni astronomiche concetti e metodologie dell'ottica quantistica. Avevamo vari scopi in mente: da un lato raggiungere risoluzioni spaziali e temporali non possibili

con mezzi convenzionali, dall'altro avere nuove informazioni sulla generazione della luce negli astri e sulla sua interazione con campi elettromagnetici e gravitazionali, particelle elementari, gas e polveri presenti nel percorso dalla sorgente sino a noi. Oltre al team astronomico, rapidamente cresciuto con l'ingresso di affermati ricercatori quali Giampiero Naletto e Luca Zampieri e di vari giovani laureandi e dottorandi noi del Dipartimento di Fisica e Astronomia (DFA) e dell'INAF Osservatorio Astronomico di Padova (OAPd), la possibilità di utilizzare l'ottica quantistica attrasse ricercatori padovani di un campo diverso dall'astronomia ma con vari punti di contatto sia concettuali che tecnologici, cioè quello delle comunicazioni quantistiche. Cito in particolare Gianfranco Cariolaro (autore di un fondamentale testo, *Quantum Communications*), Paolo Villoresi e loro allievi del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DEI) e ora del Padua Quantum Technologies Research Center dell'Università di Padova. Cominciò un intenso scambio di idee, esperienze e strumentazione tra i team patavini di DFA, OAPd e DE da un lato e quelli viennese e svedese dall'altro, che comportò anche l'utilizzo dei telescopi di Asiago. Si utilizzò perfino la terrazza superiore della torre della Specola per scambiare fotoni singoli con il DEI sopra i tetti della città. Una funzione scientifica

---

<sup>1</sup> A causa delle tante difficoltà tecniche e economiche, il progetto si è notevolmente ridimensionato, passando da 100 a 39 metri. Comunque, il telescopio, chiamato ora Extremely Large Telescope (ELT), in avanzata costruzione a Cerro Armazones, sarà il maggiore al mondo e ancora fornirà un altissimo flusso di fotoni.

che il primo direttore della Specola, l'Abate Toaldo, non avrebbe mai immaginato.

Sulla parte di comunicazioni quantistiche ha scritto in varie occasioni Paolo Villoresi (vedi ad es. su questa rivista *La comunicazione quantistica per gli usi quotidiani*). Mi limito qui a citare i pionieristici risultati conseguiti scambiando fotoni tra il telescopio della stazione Giuseppe Colombo dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) a Matera e vari satelliti geodetici, e quelli ottenuti scambiandoli tra il sito di Roque de los Muchachos (La Palma, Canarie), dove sono situati vari telescopi tra cui il Telescopio Nazionale Galileo (TNG), e il sito di Izaña al Teide (Tenerife), dove è situato il telescopio OGS per comunicazioni ottiche dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), vedi Fig. 1.



Fig. 1 – *In alto* (foto dell'autore), il Roque de los Muchachos a La Palma (dove è il TNG) visto dal sito di Izaña, dove è situato il telescopio OGS dell'ESA. *In basso* (foto di Paolo Villoresi), vista inversa. Si scorge (a sinistra del Teide, in basso) il puntino verde di un fascio laser che serviva da riferimento di direzione.

I due siti sono entrambi a altitudine di circa 2400 m e sono separati da 144 km in linea d'aria. In primo piano in Fig. 1 non sono onde del mare, ma lo strato di nubi a circa 2000 m, da cui spuntano le sommità

delle due montagne. Il fascio di fotoni singoli passava proprio sopra questo strato di nubi. Essere riusciti a effettuare questa comunicazione quantistica è stato un record mondiale, oggetto di citatissimi lavori su prestigiose riviste scientifiche.

Vengo ora alla parte più prettamente astronomica. Come dicevo all'inizio, il progetto OWL aveva stimolato idee nuove, sulle quali si avviò una intensa collaborazione internazionale con Dainis Dravins (Università di Lund, Svezia) e vari altri astronomi europei. La collaborazione produsse nel 2005 un fondamentale documento, *Quant-Eye*, che ancor oggi costituisce la base della *Quantum Astronomy* in generale.

Il team astronomico padovano si era nel frattempo consolidato anche sul piano finanziario, con l'assegnazione dei fondi di un programma di eccellenza della Fondazione Cassa di Risparmio di Padova e Rovigo, di progetti di ricerca nazionali (PRIN) e dell'ESO.

Ci concentrammo su due tematiche, la possibilità di risolvere angoli molto più piccoli di quelli possibili con tecniche convenzionali da un lato, e dall'altro esaminare la statistica dei tempi di arrivo dei singoli quanti di luce con risoluzioni temporali il più possibile vicini a quelli imposti dalla relazione di Heisenberg tra tempo e energia. In pratica dovevamo spingerci verso il picosecondo (millesimo di milionesimo di secondo), un intervallo temporale molti ordini di grandezza più piccolo di quelli comunemente usati dagli astronomi.

Nel seguito, accennerò solo brevemente alla risoluzione spaziale, perseguita tramite l'utilizzo del momento angolare orbitale

(o della cosiddetta *twisted light*), mentre mi concentrerò sui risultati della altissima risoluzione temporale.

### La *twisted light*

La caratteristica quantistica della radiazione luminosa usata allo scopo di risolvere angoli molto piccoli è il *momento angolare orbitale*. Qualitativamente, possiamo pensarlo come un'elica descritta dal fronte d'onda attorno alla direzione di propagazione del fascio luminoso, vedi Fig. 2. In gergo, la si chiama *twisted light*, che ha importanti applicazioni teoriche e pratiche in vari campi, dall'astronomia alla microelettronica. Tra le sue varie virtù, ha la capacità di mettere in rotazione atomi e molecole, come utilizzato in biologia e farmacia (*optical tweezers*). Di questo argomento hanno scritto diffusamente Fabrizio Tamburini<sup>2</sup> e Bo Thidé. Qui mi limito a citare gli esperimenti con il telescopio Galileo di 122 cm sito in Asiago - Pennar. In sostanza, fu artificialmente sovrapposto il momento angolare orbitale alla luce stellare mediante particolari dispositivi ottici che, inseriti prima del fuoco del telescopio, consentono di spostare la luce dall'asse ottico a un anello distante. Si potrebbe così mettere in evidenza un debolissimo pianeta a piccola distanza angolare dalla sua stella, una rivelazione non possibile con le tecniche tradizionali<sup>3</sup>. Grazie alla collaborazione con Anton Zeilinger, il primo dispositivo provato con successo al telescopio fu un ologramma a forchetta.

<sup>2</sup> Nel 2018 Tamburini ha dato su tale argomento una prestigiosa *Angstrom Lecture* all'Accademia delle Scienze Svedese.

<sup>3</sup> I pianeti delle altre stelle, o pianeti extra-solari, si chiamano anche *esopianeti*. Il loro studio è tra quelli di punta della odierna astronomia. Gli astronomi padovani contribuiscono strumenti spaziali quali CHEOPS e PLATO.

In seguito, furono costruiti altri dispositivi fabbricati usando nanotecnologie, grazie all'esperienza di Filippo Romanato del DFA. Furono lavori su una 'nuova luce' fatti con un vecchio telescopio<sup>4</sup> e che attrassero un vasto interesse internazionale.

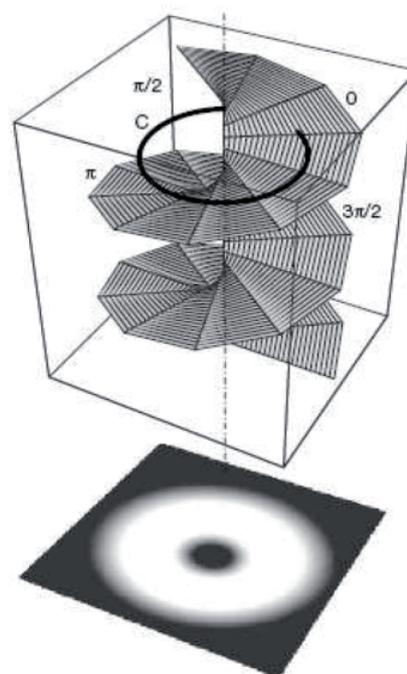


Fig. 2 – Il momento angolare orbitale agisce come una specie di elica che annulla la luce sull'asse ottico e la invia in una corona esterna.

### L'altissima risoluzione temporale

Nel documento *QuantEye* non ci limitammo a esporre le basi teoriche dell'astronomia quantistica, effettuammo anche lo studio di fattibilità di un fotometro capace di raccogliere l'enorme flusso di fotoni celesti al fuoco di OWL, misurarne l'arrivo con precisione molto migliore del miliardesimo di secondo (un nanosecondo) e mantenere le misurazioni su una scala di tempo precisa e coerente per decine di anni. Caratteristiche non presenti in alcun strumento astronomico dell'epoca. Terminato di scrivere il documento, per verificare la fattibilità del progetto costruimmo due fotometri quantistici veri

<sup>4</sup> Nel 2022 il Galileo di Asiago - Pennar ha compiuto 80 anni.

e propri, AquEye (Asiago Quantum Eye) per il telescopio Copernico e poi IquEye (Italian Quantum Eye) da portare a telescopi della classe di 4m, come il New Technology Telescope (NTT) dell'ESO in Cile, il TNG e il William Herschel Telescope (WHT), entrambi al Roque.

Per entrambi i fotometri scegliemmo rivelatori detti Single Photon Avalanche Photodiodes (SPAD) prodotti dalla MicroPhoton Devices di Bolzano, capaci di una risoluzione temporale attorno ai 25 picosecondi. Per acquisire e immagazzinare l'enorme flusso di dati, su consiglio di Sandro Centro (DFA)<sup>5</sup>, acquistammo un dispositivo di una azienda toscana, la CAEN, utilizzato dai fisici del CERN di Ginevra. Per migliorare le nostre conoscenze e capacità tecnologiche nel campo della misura del tempo, entrammo in un programma dell'ESA e della Commissione Europea per l'utilizzo scientifico del nascente sistema di navigazione satellitare Galileo (la versione europea del più conosciuto GPS). Il progetto prese il nome di Harrison, dal famoso costruttore di orologi del XVIII secolo. I fondi Harrison ci consentirono di acquistare e sfruttare a scopi astronomici un sofisticato sistema di acquisizione del tempo e della posizione sulla superficie terrestre.

La parte ottica dei fotometri fu un'altra nostra 'invenzione', cioè la suddivisione della pupilla di ingresso in tante sotto-pupille, ciascuna alimentante un proprio rivelatore (vedi Fig. 3). In questo modo è possibile effettuare fotometria simultaneamente in 4 filtri diversi, oppure sommare le quattro uscite per migliorare il rapporto segnale-rumore.

<sup>5</sup> A lui dobbiamo anche la progettazione e costruzione della prima elettronica di controllo del telescopio Copernico.

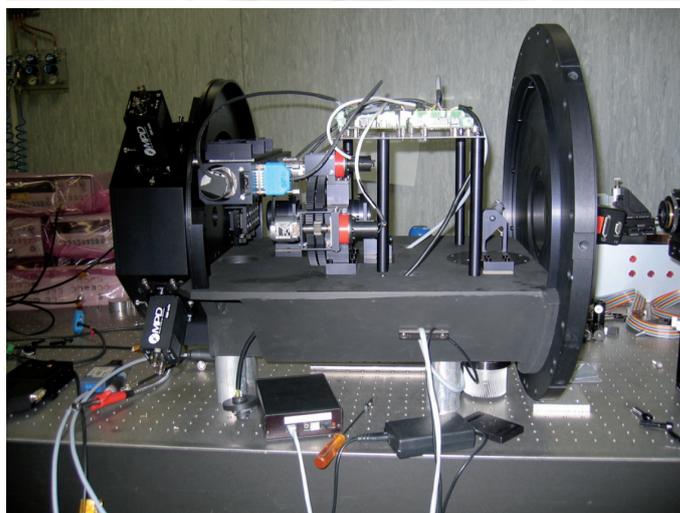
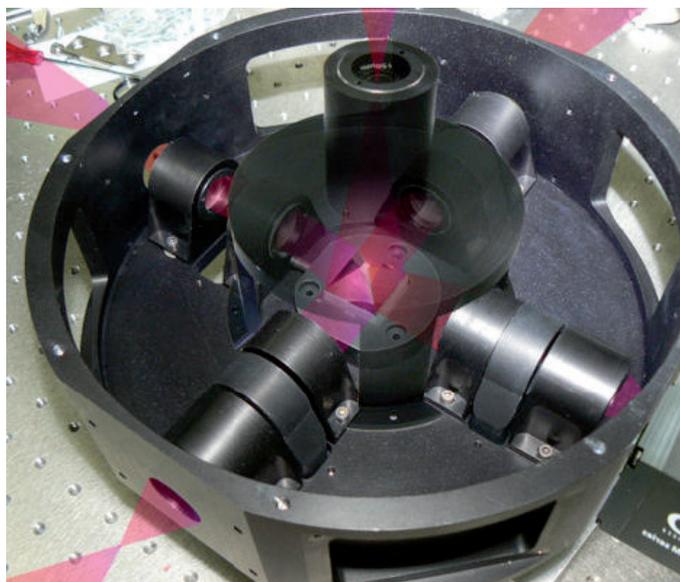


Fig. 3 - *In alto*, opto-meccanica di AquEye, la piramide centrale divide la pupilla del telescopio in quattro sottopupille, ciascuna alimentante un proprio SPAD. *In basso*, IquEye visto di lato sul banco ottico, concettualmente simile a AquEye ma più grande. Si scorge anche la ruota per inserire diversi filtri colorati prima degli SPAD.

Decidemmo inoltre di non fare nessuna integrazione del segnale, ma di immagazzinare il tempo di arrivo di ciascun fotone, compito non banale dato che in una notte di osservazione si raccolgono Terabyte di dati di lunghissima estensione, dovendo registrare il tempo fino al picosecondo. Altrettanto complicata è l'analisi di queste enormi stringhe di dati. Vale la pena precisare che a questi livelli di precisione è necessario tener conto sia della posizione dell'osservatore che anche di tutti i movimenti del telescopio rispetto alla sorgente

celeste, non solo quelli più ovvi di rotazione diurna e rivoluzione annua del baricentro del sistema Terra-Luna, ma anche della posizione del Sole rispetto al baricentro del sistema solare. La messa a punto del software richiese un notevole sforzo, coronato da successo.

I due fotometri ci diedero, e ancora ci danno, enormi soddisfazioni in varie tematiche astrofisiche. Innanzitutto, nello studio delle pochissime radiosorgenti pulsanti (in gergo, *pulsar*) di cui si conosca una controparte ottica. La più famosa è sicuramente quella nella nebulosa del Granchio, che è una stella di neutroni con diametro di appena 10 km in cui è racchiusa una massa pari a quella del Sole. Questa pulsar è il residuo dell'esplosione della supernova vista dagli astrologi cinesi nel 1054. Oggi, questa debole stellina ruota su stessa 33 volte al secondo, emettendo due impulsi di luce, uno primario cui segue uno secondario dopo 13 millisecondi, come mostrato in Fig. 4. Questi dati sono stati ottenuti dal team padovano (vedi Fig. 5) con NTT, ma anche AquEye al Copernico dà eccellenti risultati su questa pulsar, che ha la fortunata posizione in cielo che le consente di essere osservata da entrambi gli emisferi terrestri.

I dati non sono stati ancora corretti dal rumore, ma mostrano chiaramente la presenza dei due impulsi. È evidente l'enorme lunghezza della stringa di tempi di arrivo dopo alcune ore di osservazione.

Il periodo odierno è attorno ai 33 millisecondi, ma la pulsar perde continuamente energia, per cui il periodo sta allungandosi. IquEye e AquEye sono così precisi che non solo riescono a misurare il periodo istantaneo con precisione migliore di un picosecondo, ma in poche ore di osservazione possono mirarne la variazione (derivata prima) e dopo pochi giorni anche la derivata seconda. Sono dati preziosi per capire i meccanismi elettromagnetici con cui la pulsar perde energia.

Un altro spettacolare risultato è stata la determinazione della variabilità dell'unica pulsar ottica conosciuta in una galassia esterna (la Grande Nube di Magellano), visibile solo dall'emisfero australe.

Oggi i due fotometri, opportunamente migliorati e interfacciati al telescopio con fibra ottica, sono entrambi a Asiago, AquEye sul Copernico e IquEye sul Galileo del Pennar. Recentemente, siamo riusciti a osservare

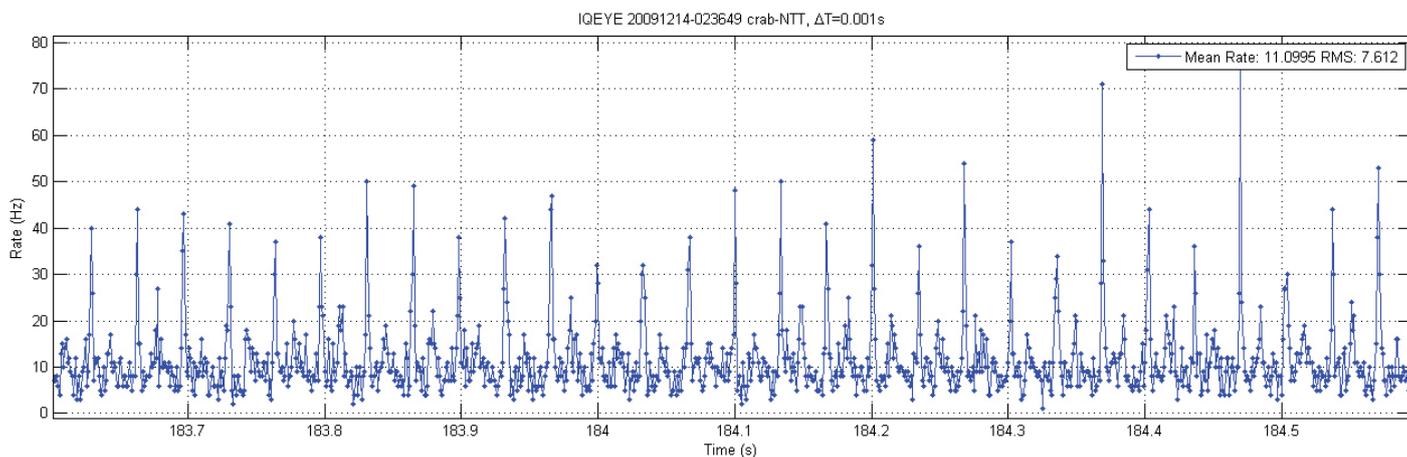


Fig. 4 – Un breve tratto (meno di un secondo) di acquisizioni di IquEye a NTT della pulsar nella nebulosa del Granchio.

con AquEye al Copernico una pulsar con un ritmo rapidissimo, appena un millesimo di secondo.



Fig. 5 – Il team quantistico padovano al 3.5m NTT ESO a La Silla (Cile). Si riconoscono da sinistra Ivan Capraro, Paolo Zoccarato, Andrea Di Paola, Cesare Barbieri, Enrico Verroi, Tommaso Occhipinti, Giampiero Naletto.

Un altro campo che ci dà grandi soddisfazioni è quello delle occultazioni lunari. Quando la Luna, nel suo cammino diurno, occultava una stella, nell'istante in cui la luce stellare dovrebbe sparire di colpo si genera invece una caratteristica ondulazione dell'intensità luminosa, che dura appena pochi millisecondi. Si genera cioè una 'figura di diffrazione', causata dalla natura ondulatoria della luce. Lo stesso fenomeno, ma invertito, si verifica quando la stella riemerge da dietro alla Luna.

L'analisi di tale modulazione dà modo di misurare il diametro della stella o di capire se la stella è in realtà doppia o tripla. La Figura 6 a destra mostra un esempio di occultazione di una stella brillante. Si noti la caratteristica ondulazione e la discesa non istantanea della luce stellare verso il buio, quando cioè il bordo lunare la nasconde. Il fenomeno dura una decina di millisecondi. I dati sono stati ridotti con due diverse ipotesi: sopra, in rosso, stella singola puntiforme; sotto, in blu, stella con diametro apparente di 3 millesimi di secondo d'arco. La statistica, in particolare i residui mostrati nelle due curve inferiori, favorisce questa seconda ipotesi.

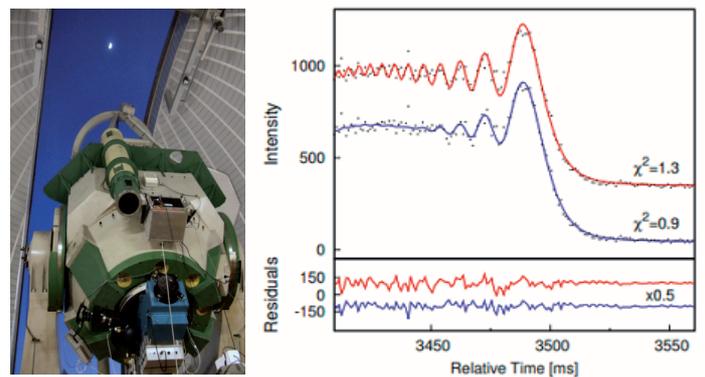


Fig. 6 – A sinistra, AquEye inizia l'osservazione di una occultazione lunare con il Copernico. A destra, l'occultazione lunare di una stella brillante che, analizzata con due modelli diversi, favorisce il modello di disco stellare esteso per pochi millesimi di secondo d'arco.

### Da QuantEye alla interferometria di intensità

Tra le applicazioni astronomiche dell'ottica quantistica v'è la possibilità di fare interferenza tra due telescopi posti a una certa distanza tra loro, non sfruttando la fase dell'onda luminosa, ma proprio la correlazione tra i tempi di arrivo dei fotoni stellari sulle due aperture. L'idea era già stata applicata intorno al 1970 da Hanbury Brown e Twiss con l'interferometro di Narrabri in Australia, per determinare il diametro di

stelle vicine molto blu. Il colore blu è una delle discriminanti rispetto alla più usata interferometria di fase, che invece funziona molto meglio nel rosso. L'altra differenza tra le due tecniche è che nell'interferometria di intensità i due telescopi non devono essere otticamente connessi, possono essere decine di chilometri distanti tra loro e nemmeno vedersi. Serve solamente la determinazione della correlazione tra i tempi di arrivo dei fotoni sulle due (o tre, o più) aperture. Un primo esperimento dimostrativo è stato fatto nel 2020 correlando i due telescopi di Pennar e Ekar, tra loro distanti quasi 4 km (vedi Fig. 7) osservando Vega. La correlazione così misurata è coerente con quanto atteso per il diametro apparente di Vega, appena 3 millesimi di secondo d'arco. È un diametro apparente così piccolo da non potersi misurare con nessun mezzo convenzionale. Diametro apparente dicevo, ma se lo riportiamo alla distanza di Vega il diametro in km è circa doppio di quello del Sole (3 milioni di km contro 1,5 milioni), così come è circa doppia la temperatura superficiale, 10.000 gradi invece di 5.800. Infatti, il colore di Vega è molto più blu di quello del Sole.

La particolare disposizione dei due telescopi di Asiago suggeriva a Zeilinger di effettuare una delle prove cruciali per dimostrare la consistenza logica della Meccanica

Quantistica, cioè la violazione delle 'disuguaglianze del teorema di Bell'<sup>6</sup>. A tale scopo, un telescopio deve osservare una distantissima quasar in una direzione, l'altro una seconda altrettanto distante quasar in direzione opposta, mentre una sorgente di fotoni intrecciati (in gergo, entangled)<sup>7</sup> a mezza strada tra i due telescopi serve come riferimento di correlazione. L'esame della logistica Pennar - Ekar, con vari soggiorni di Zeilinger e suoi ricercatori ed alcune acquisizioni preliminari<sup>8</sup>, fornirono indicazioni utilissime per l'esperimento finale, che fu poi compiuto usando i più potenti telescopi di 4 metri TNG e WHT, con l'attiva partecipazione degli astronomi patavini in servizio al Roque. La consistenza interna della Meccanica Quantistica è stata così dimostrata sino agli estremi limiti dell'Universo osservabile.

Mentre AquEye e IquEye proseguono il loro ottimo lavoro a Asiago sotto la guida di

<sup>6</sup> John Stewart Bell, un fisico irlandese di Belfast, lavorò al CERN di Ginevra. Coniò il suo teorema, noto appunto come 'teorema delle disuguaglianze' nel 1964.

<sup>7</sup> L'esistenza di questi fotoni è una delle caratteristiche più peculiari della meccanica quantistica, come evidenziato in classici lavori di Erwin Schroedinger, di cui ricordiamo il 'paradosso del gatto' sia vivo che morto.

<sup>8</sup> Questi esperimenti furono possibili grazie anche a un finanziamento della Fondazione Volksbank di Marostica.

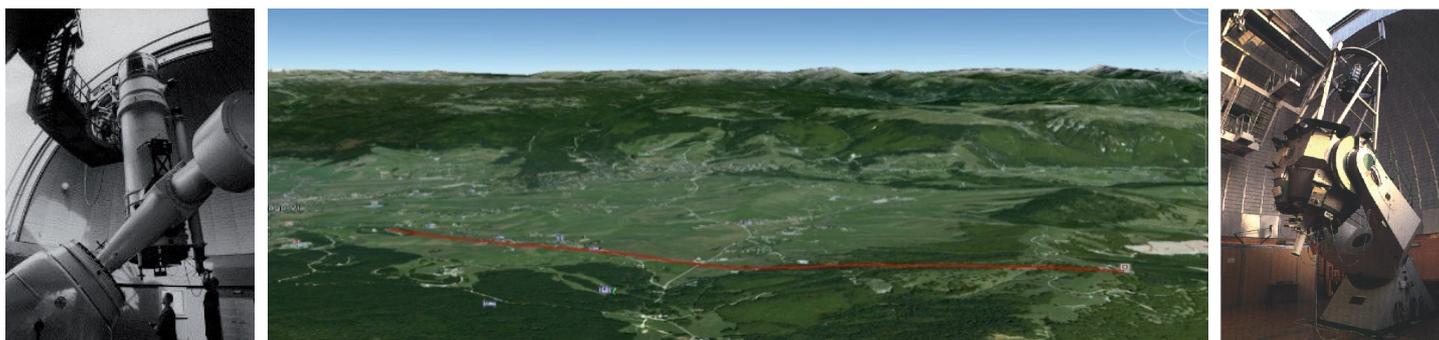


Fig. 7 - Il primo esperimento di interferometria di intensità tra il telescopio di 122cm al Pennar e quello di 182 cm a Cima Ekar.

Giampiero Naletto e Luca Zampieri, si sta per aprire un nuovo eccitante campo per l'Interferometria di Intensità, utilizzando i telescopi che sono in avanzata costruzione sul Teide a Tenerife (progetto chiamato ASTRI). A questi telescopi, nati per misurare un particolare tipo di luce (quella Cherenkov, generata dai raggi cosmici di altissima energia quando entrano in atmosfera), l'astronomia quantistica ha aperto un nuovo campo di ricerca, quello della determinazione delle dimensioni angolari di stelle e altre sorgenti cosmiche. Con ASTRI, l'astronomia quantistica riprende il carattere di internazionalità che ha avuto sin dall'inizio, in attesa di ulteriori progressi con l'ELT.

### Conclusioni

L'ottica astronomica ha compiuto enormi progressi dai tempi di Galileo e Keplero. I ricercatori padovani hanno giocato un ruolo rilevante in tale progresso, sin dai tempi della fondazione della Specola. C'è comunque ancora tanta strada per capire che cos'è la luce, che cos'è un fotone, quali sono i meccanismi che generano tanti tipi di luce nei corpi celesti, come queste diverse luci interagiscono con le particelle e i campi gravitazionali, magnetici e elettrici, sia qui vicino a noi che all'origine dell'Universo. Un panorama affascinante di future ricerche in cui tanti nostri giovani saranno protagonisti. Questi lavori non sarebbero stati possibili senza la partecipazione di tanti giovani, voglio qui citare Ivan Capraro, Tommaso Occhipinti, Paolo Ochner, Claudio Pernechele, Gabriele Rodeghiero, Anna Sponselli, Gabriele Umbriaco, Paolo Zoccarato. Ringrazio Paolo Villoresi per gli utili commenti e la foto in Fig. 1.

### Bibliografia essenziale

BARBIERI C, TAMBURINI F, ANZOLIN G, BIANCHINI A, MARI E, SPONSELLI A, UMBRIACO G, PRASCIOLU M, ROMANATO F and VILLORESI P. 2009. *Light's Orbital Angular Momentum and Optical Vortices for Astronomical Coronagraphy from Ground and Space Telescopes*, «Earth, Moon, and Planets», Vol. 105, Issue 2-4, pp. 283-288, DOI: 10.1007/s11038-009-9325-8.

BARBIERI C, NALETTO G, OCCHIPINTI T, FACCHINETTI C, VERROI E, DI PAOLA A, BILLOTTA S, ZOCCARATO P, BOLLI P, TAMBURINI F, BONANNO G, D'ONOFRIO M, MARCHI S, ANZOLIN G, CAPRARO I, MESSINA F, BELLUSO M, PERNECHELE C, ZACCARIOTTO M, ZAMPIERI L, DA DEPPO V and FORNASIER S. 2009. *AquEYE, a single photon counting photometer for astronomy*, «Journal of Modern Optics», Vol. 56-2, pp. 261-272.

CARIOLARO G. 2014. *Quantum Communications*, «Springer» ISBN 9783-3319-1599-9

DRAVINS D, BARBIERI C, FOSBURY RAE, NALETTO G, NILSSON R, OCCHIPINTI T, TAMBURINI F, UTHAS H and ZAMPIERI L. 2005. *QuantEYE: The Quantum Optics Instrument for OWL*, eprint arXiv:astro-ph/0511027.

NALETTO G, BARBIERI C, OCCHIPINTI T, CAPRARO I, DI PAOLA A, FACCHINETTI C, VERROI E, ZOCCARATO P, ANZOLIN G, BELLUSO M and 13 co-authors. 2009. *Iqueye, a single photon-counting photometer applied to the ESO new technology telescope*, «Astronomy & Astrophysics», Vol. 508, Issue 1, 2009, pp. 531-539.

VILLORESI P, JENNEWAIN T, TAMBURINI F, ASPELMEYER M, BONATO C, URSIN R, PERNECHELE C, LUCERI V, BIANCO G, ZEILINGER A and BARBIERI C. 2008. *Experimental verification of the feasibility of a quantum channel between space and*

*Earth*, «New J. Phys.», Vol. 10, 033038 [IOP select paper].

ZAMPIERI L, GERMANÀ C, BARBIERI C, NALETTO G, CADEZ A, CAPRARO I, DI PAOLA A, FACCHINETTI C, OCCHIPINTI T, PONIKVAR D, VERROI E, and ZOC-CARATO P. 2011. *The Crab pulsar seen with Aqueye at Asiago Cima Ekar Observatory*, «Advances in Space Research», Vol. 47, Issue 2, pp. 365-369.

ZAMPIERI L, RICHICHI A, NALETTO G, BARBIERI C, BURTOVOI A, FIORI M, GLINDEMANN A, UMBRIACO G,

OCHNER P, DYACHENKO V and BARBIERI M. 2019. *Lunar Occultations with Aqueye+ and Iqueye*, «The Astronomical Journal», Vol. 158, Issue 5, article id. 176, pp. 1-7, DOI: 10.3847/1538-3881/ab3979.

ZAMPIERI L, NALETTO G, BURTOVOI A, FIORI M and BARBIERI C. 2021. *Stellar intensity interferometry of Vega in photon counting mode*, «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», Vol. 506, Issue 2, pp. 1585-1594 DOI: 10.1093/mnras/stab1387.

\*Cesare Barbieri è professore emerito di Astronomia dell'Università di Padova e socio effettivo dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti