

C.O.D.A.S.
Centro Osservazione e Divulgazione Astronomica Siracusa

www.codas.it
www.pnebulae.altervista.org

NGC 1535



Diego Barucco

© Copyright 2006¹

¹ Documento protetto da diritti d'autore contro la modifica. Questa è una versione stampabile. L'uso del materiale documentario e fotografico di questo lavoro comporta l'obbligo di citazione dello stesso con il nome dell'autore e dell'associazione che ne ha autorizzato la pubblicazione on-line. Per ulteriori informazioni scrivere a diego.barucco1@virgilio.it

Dati principali

NGC 1535 “Occhio di Cleopatra”

PNG 206.4-40.5

PK 206-40.1

“Occhio di Cleopatra”

RA: 04h 14m 17,13s (J2000)

DE: -12° 44' 11,4" (J2000)

Magnitudine: 9,4 (integrale)

Magnitudine H β : 11,05

Luminosità superficiale: 7,06 (mag. x arcsec²)

Dimensione diametro – shell interno 20”-18”; shell esterno 48”x42”; halo 180”

Stella centrale magnitudine V: 12,08

magnitudine B: 12,09

Descrizione NGC: vB, p of D neb

Uranometria: 035

Note storiche: Scoperta da William Herschel il 1 febbraio 1785.

Altre denominazioni: Herschel IV-26, J.H. 2618 & GC 826.

Distanza: 1,8 kpc

Raggio: 0,248 pc

Tipo V-V (Vorontsov-Velyanimov): 3(6)

Osservazioni storiche

Scoperta da Sir. William Herschel il 1° febbraio 1785

Sir William Herschel

1785 – “*Stella con alone nebuloso, con chioma lattea, con corti raggi, forme notevoli [...]*”.

Thomas Webb

Hardwick, Herefordshire, England
94mm f/18 Tully Achromat

1807-1885 – “*Planetaria luminosa e rotonda con il 94mm, ma senza ingrandire. Lalande l’ha descritta come il più straordinario oggetto che ha mai visto: una stella di 11ma magnitudine si trova al centro della nebulosa circolare, la stessa è collocata anche centralmente rispetto ad un cerchio più debole di luce soffusa. D’Arrest non ha osservato questo aspetto, ma è dell’opinione che il nucleo sia eccentrico e che i bordi siano risolvibili e il colore è blu; come Lorde Rosse, considera il nucleo granulare.*”²

² T. Webb, *Celestial Objects for Common Telescopes*, 1859 Vol. I; pag. 127

Introduzione

NGC 1535: l'occhio di Cleopatra, così battezzata recentemente da un astrofilo, è una bellissima nebulosa planetaria nella costellazione dell'Eridano, e rappresenta l'unica planetaria di questa costellazione.

Al telescopio si mostra come un bellissimo oggetto anche con strumenti di piccolo diametro, questo perché la sua magnitudine e la sua luminosità superficiale la rendono molto accessibile anche a comuni di telescopi amatoriali. La particolare brillantezza era nota anche a W. Herschel, il suo scopritore, il quale rimase colpito tanto che la paragonò alla chioma di una cometa.

La ripresa fotografica, diversamente dall'osservazione visuale, non è altrettanto facile: le ridotte dimensioni apparenti e la scarsa altezza sull'orizzonte (per località europee) pongono degli ostacoli che necessitano la presenza di serate particolarmente buone sotto il profilo del seeing. L'immagine amatoriale che proporremo in questo lavoro è stata effettuata raddoppiando la focale del telescopio nel tentativo di ottenere più dettagli possibili nonostante l'utilizzo di una webcam modificata.

NGC 1535 è una nebulosa planetaria dalle caratteristiche strutturali e morfologiche tipiche, infatti, essa è costituita da due gusci concentrici, uno esterno dal profilo ellittico e l'altro interno più brillante e dal profilo subcircolare. Gli involucri gassosi in espansione si trovano prossimi alla calda e luminosa stella centrale per cui i gas sono fortemente ionizzati, inoltre, le analisi dei profili P-Cygni mostrano l'emissione, da parte del nucleo centrale, di un vento molto intenso e molto veloce (Adam & Koppen, 1985).

In passato questa planetaria fu considerata bipolare (Clayton, 1988; Barjee & Anandarao, 1991) sulla base di alcune misurazioni spazio-cinematiche del guscio interno che mostravano possibili effetti dell'esistenza di un toroide equatoriale. Nuove immagini ad alta risoluzione della zona centrale e nuove misure delle velocità di espansione tendono a far escludere questa ipotesi.

Seguirà, infine, una breve descrizione della stella centrale e dell'alone esterno da noi analizzato attraverso un'immagine di Romano Corradi dell'NTT.

L'osservazione visuale

Solitaria e dispersa fra le vaghe stelle dell'Eridano, questa piccola e splendida nebulosa planetaria non è certamente un oggetto di second'ordine ma è quasi regina incontrastata di questa costellazione in quanto unica planetaria entro i suoi confini. La sua estrema brillantezza e uniformità erano note fin dalla sua scoperta avvenuta il 1° febbraio 1785 ad opera del grande astronomo Sir William Herschel il quale, descrivendola come una “stella con alone nebbioso, con chioma lattea” volle indicarne l'estrema compattezza comparandola con l'apparenza di una stella.

All'epoca delle prime osservazioni questi oggetti destarono molta curiosità a causa, della notevole luminosità e delle piccole dimensioni confrontabili con le chiome delle comete o con i pianeti da dove presero il nome di “Nebulose Planetarie”. La grande attenzione che i primi astronomi rivolsero alle nebulose planetarie era contrastata dalle difficoltà di osservazione a causa delle ridotte dimensioni, che li portava necessariamente a spingere al limite gli strumenti ottici dell'epoca e ben sappiamo i problemi pratici di W. Herschel o di Lord Rosse³ nel manovrare i loro giganteschi strumenti; nonostante ciò, determinare la natura di questi oggetti restava di primaria importanza. Lord Rosse e D'Arrest⁴, secondo la testimonianza di Tomas

³ William Parsons, terzo Conte di Rosse anche noto come Lord Rosse (York, 17 giugno 1800 – Castello di Birr, Birr 31 ottobre 1867), astronomo irlandese. Nel 1840, a Birr nella contea di Offaly, costruì il suo "Leviathan of Parsonstown", un telescopio da 182 centimetri di diametro, che fu per molti decenni il più grande telescopio del mondo. Parsons dovette inventare molte delle tecniche usate nella costruzione, sia a causa delle dimensioni senza precedenti, sia perché i costruttori di telescopi del passato avevano protetto i loro segreti o semplicemente non erano riusciti a pubblicare i loro metodi (da <http://it.wikipedia.org>).

⁴ Heinrich Louis d'Arrest (13 luglio 1822 – 14 giugno 1875) astronomo prussiano nato a Berlino. Spesso conosciuto come Heinrich Ludwig d'Arrest. D'Arrest lavorò all'Osservatorio di Leipzig nel 1851 dove scoprì una cometa che oggi porta il suo nome (6P/d'Arrest); egli studiò molti asteroidi (e fu lo scopritore di 76 Freida) e nebulose (trad. da <http://en.wikipedia.org>).

Webb⁵, credettero che NGC 1535 fosse costituita da minutissime stelline e la memoria ci porta facilmente alle impressioni di Messier su NGC 650-1 dove anch'egli credette di osservare “minutissime stelline” (Vd. NGC 650/1, Barucco; www.codas.it). Il dibattito sulla vera costituzione di questi oggetti continua successivamente arrendendosi con la nascita della spettroscopia che ne svela la natura nebulare.

Celebre è la descrizione al telescopio che ci regala lo stesso Thomas Webb nel primo volume del *Celestia Object for Common Telescope* (1889) a pag. 127; tale descrizione, effettuata sicuramente con un non “Common Telescope” poiché si tratta del rifrattore acromatico Tully da 94 cm, conferma la visione di un altro astronomo, il francese Jérôme Lalande⁶ il quale annota come questa nebulosa abbia in realtà un struttura ben precisa: una stella al centro di due strutture nebulose circolari, la prima più interna e luminosa la seconda esterna più debole.

Tale descrizione trova esatto riscontro con l'osservazione che possiamo effettuare ai giorni nostri anche con strumenti di piccolo diametro quali un 130 o un 150mm purché si spinga lo strumento ad alti ingrandimenti.

NGC 1535, con una magnitudine di 9,4, ha una luminosità davvero sorprendente che la annovera certamente fra le nebulose planetarie più luminose del cielo, inoltre, il fatto che un tale flusso sia concentrato all'interno di spazio di non oltre i 44" d'arco la porta ad avere una magnitudine superficiale molto alta che, addirittura, supera con i suoi 7,04 di magnitudine, la magnitudine complessiva. Questa caratteristica rende la sua rintracciabilità nel cielo estremamente facile tanto che è già possibile distinguerla come una stella sfuocata in cercatori anche molto piccoli; tuttavia resta tale se

⁵ Reverendo Thomas William Webb (14 dicembre 1807 – 19 maggio 1885) astronomo britannico. Servì come ecclesiastico in vari luoghi incluso Gloucester, e finalmente nel 1852 si trasferì a Hardwick vicino al confine con il Galles. Qui scrisse una celebre guida astronomica “Oggetti Celesti per telescopi comuni”, grazie alla quale oggi è conosciuto (trad. da <http://en.wikipedia.org>).

⁶ Joseph-Jérôme Lefrançois de Lalande (11 luglio 1732 – 4 aprile 1807) astronomo francese direttore dell'Osservatorio di Parigi dal 1795 e nel 1801 compilò il catalogo più completo (rispetto al suo tempo) con le indicazioni della posizione di 47.390 stelle (*Histoire Céleste Française*). Insieme allo scienziato britannico John Flamsteed, primo astronomo reale d'Inghilterra, Lalande fu il primo a catalogare le stelle a pubblicarle nella edizione francese del 1645-1719. Un astro da lui messo a catalogo oggi porta il suo nome: è la stella Lalande 21185 (da <http://it.wikipedia.org>).

osservata in strumenti con diametri inferiori ai 114 mm, mentre con strumenti simili o leggermente superiori siamo in grado, ad alti ingrandimenti e sotto condizioni di cielo buone, di poter tentare di mettere in evidenza la caratteristica che osservò Lalande e poi confermata da Webb, ovvero la struttura a gusci concentrici. Con questi strumenti saremo in grado, non solo di descrivere la forma della nebulosa con contorni ben definiti (sebbene deboli all'esterno) e la struttura a doppio guscio, ma anche di evidenziarne il colore azzurro tipico dell'emissione [OIII].

Salendo di diametro fino a 200 mm la nebulosa appare molto più definita e chiara anche grazie al fatto che strumenti del genere supportano meglio ingrandimenti più elevati. L'osservazione di Michael Geldorp dalla Francia con un dobsoniano da 8" aperto a f/6 ci da un indizio chiaro di quali ingrandimenti siano necessari per studiarne la struttura interna, ecco la sua descrizione:

“Facilmente rintracciata a 49X senza filtro, è molto evidente con il filtro inserito. Malgrado sia collocata nell'emisfero sud è sorprendente la facilità nel vedere i dettagli di questa nebula specialmente a 203X. Nebulosa larga e rotonda. NGC 1535 ha una area centrale ed una sospetta stella centrale. Attorno a questo centro è presente un alone debole di luce soffusa con un insieme luminoso nel lato esterno. Planetaria molto bella che potrebbe essere realmente grandiosa se osservata più a sud.”

Geldorp evidenzia la facilità di osservazione di questa planetaria nonostante essa sia collocata nell'emisfero australe, ma tale facilità non agevola l'astrofilo il quale non riesce a distinguere un elemento importante che sarà descritto più avanti ed è maggiormente messo in evidenza con telescopi di diametro maggiore, ovvero, il fatto che la zona centrale più luminosa presenta un aspetto anulare. Tale caratteristica è stata da noi osservata con un telescopio newton da 250 mm e riteniamo possibile che questa possa essere visibile anche in telescopi da 8". Il fatto che l'osservatore non sia riuscito a descrivere la morfologia anulare centrale potrebbe essere dovuto al fatto che egli abbia usato un telescopio dobsoniano sprovvisto di motorizzazione, ciò può

provocare un certo disagio nell'inseguimento manuale soprattutto ad alti ingrandimenti; la minore concentrazione dell'occhio sui particolari dell'oggetto diventa quindi un importante fattore da tenere in considerazione. Aggiungiamo però che l'aspetto anulare è di per se difficile da percepire a causa di un ulteriore elemento descritto da Geldorp: la presenza della stella centrale. La stella centrale ha una magnitudine di 12,08 che inizialmente non causa grossi problemi all'osservatore ma la sua presenza diventa avvertibile nel momento in cui tentiamo di studiare le zone centrali della planetaria, poiché virtualmente tende a colmare con la sua luminosità il vuoto dell'anello del guscio interno. Per evidenziare quindi tale caratteristica con strumenti ottici del diametro di 200 mm nel caso in cui fossimo sprovvisti di filtri interferenziali, è necessario una prolungata osservazione ad alti ingrandimenti. Strumenti di più largo diametro non fanno altro che evidenziare ancor più le caratteristiche di questa nebulosa, riportiamo la nostra osservazione eseguita con un newtoniano da 250 mm:

“Nebulosa luminosa e molto ben distaccata. Si presta molto bene ad osservazioni con ingrandimenti piuttosto alti.

La forma a prima vista è circolare, sebbene osservando con più attenzione sembra di scorgere un certo allungamento con direzione N-S.

Ha una struttura a doppio guscio di cui quello più interno rappresenta il più luminoso e meglio definito. L'apparenza anulare interna è maggiormente difficile da percepire a causa della dell'alta luminosità e della presenza della stella centrale. All'interno del guscio non sono visibili particolari variazioni di luminosità.

E' presente un secondo guscio esterno visibile come una specie di alone debole e regolare il quale possiede dei contorni a prima vista non molto chiari ma intuibili a causa dell'improvvisa perdita di luminosità verso l'esterno. A tratti si ha l'impressione che questo guscio abbia una luminosità irregolare anche se è difficile definirlo con certezza.

Con l'interposizione del filtro OIII la forma anulare della nebula appare più evidente, mentre i contorni dell'alone scompaiono e diviene visibile con una luminosità crescente verso l'interno.”

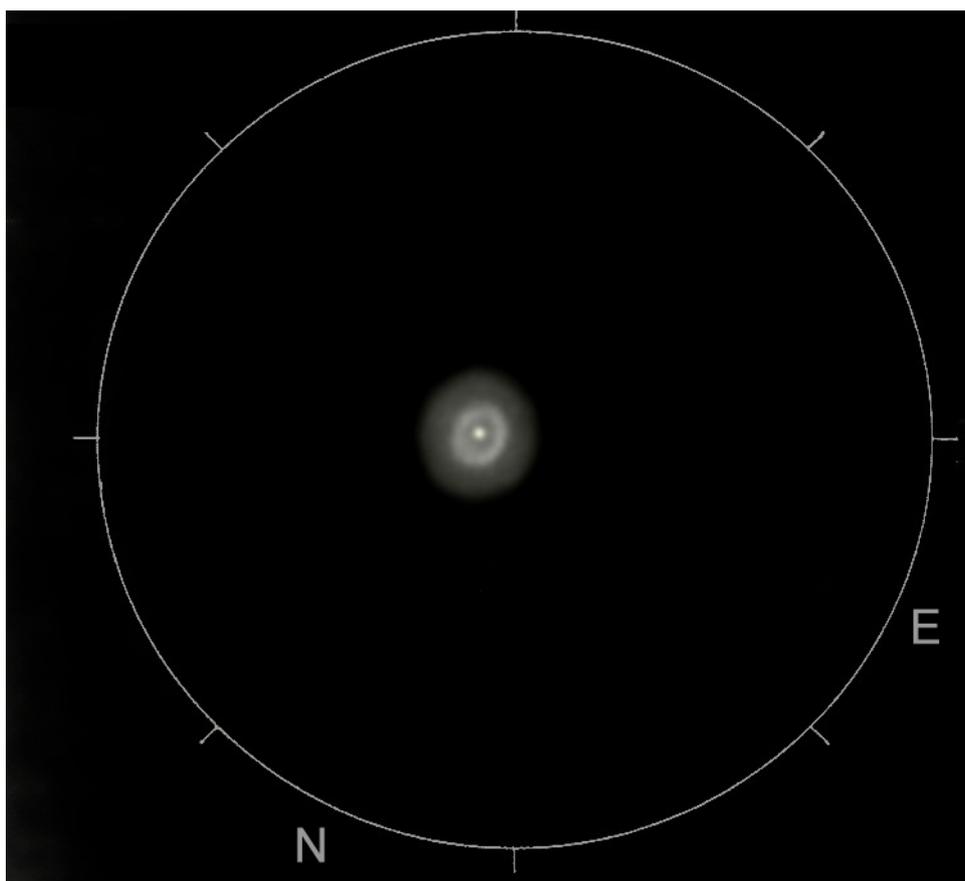


Figura 1: Disegno eseguito con telescopio newtoniano da 250 mm f/4.8 a 350X. L'osservazione è stata eseguita sia con filtro OIII per evidenziare l'aspetto anulare della zona centrale, che senza filtro per mostrare l'estensione del guscio esterno (disegno D. Barucco).

La nostra osservazione dell'oggetto ha introdotto un ulteriore elemento d'indagine: l'uso del filtro OIII. In questo caso grazie all'alta eccitazione del gas possiamo migliorarne la visione smorzando la brillantezza della stella centrale, diviene così facilmente visibile l'aspetto anulare del guscio centrale.

Osservando questa nebulosa con telescopi di diametro via via crescente aumenta la definizione e lo stacco fra la zona centrale e la zona esterna, inoltre, il margine esterno della nebulosa appare regolare mostrando la modesta forma ellittica senza particolare sforzo.

E' interessante notare come alcuni osservatori con strumenti di 300 mm abbiano avuto l'impressione di distinguere nel guscio interno una luminosità non omogenea con la prevalenza di alcune condensazioni in corrispondenza della circonferenza,

impressione confermata anche da altri osservatori con telescopi ben più grandi. Questo può essere oltremodo pienamente giustificato se andiamo a visionare fotografie ad alta risoluzione dell'oggetto le quali mostrano un guscio centrale molto disomogeneo.

Interessante è l'osservazione del francese Yann Pothier eseguita con un dobsoniano da 17,5" f/4.5, ne riportiamo la descrizione per i confronti eseguiti con vari filtri interferenziali e di contrasto:

“Descrizione: a 312 X e OIII, PN di medie dimensioni, molto luminosa, rotonda con margini netti (diffusi con filtro); a 74X, luminosa al centro; a 312X un'area centrale è solo più luminosa come in una tipica PN doppio-guscio e la stella centrale è debolmente visibile; a 312X e filtro OIII, quest'area centrale appare leggermente anulare (la stella centrale non è più visibile), a 400X e OIII, questa area anulare appare più larga; a bassa potenza, la tinta bluastra è piuttosto evidente; UHC acquisisce un buon contrasto, OIII è molto buono e Hbeta degrada la visione [...]; un W38A, filtro blu, non ottiene nessun contrasto ma agisce come un Hbeta e aumenta la visibilità della parte centrale; diametro stimato è intorno a 63"X55", l'area centrale è 33"X28" perché entrambi sono elongati WSW-ENE; la stella centrale è intorno alla mag14 è molto difficile da staccare dal anello centrale”

Questa osservazione è in perfetto accordo con quanto già descritto in precedenza. Il filtro OIII mette in evidenza la zona centrale con una ottima risposta luminosa, mentre l'H β migliora la visibilità della zona centrale per una distribuzione più uniforme del flusso.

Anche qui, come il precedente astrofilo francese, l'uso di un dobsoniano ha forse ostacolato l'osservazione di ulteriori dettagli, in particolar modo, quelli relativi alle variazioni di luminosità del guscio centrale, poiché riteniamo che con questa classe di strumenti sotto condizioni di cielo buone, sia possibile evidenziare tale aspetto.

Infine Pothier, grazie alla potenza dello strumento, riesce con precisione a stimare l'elongazione di NGC 1535, infatti, egli annota che l'asse maggiore ha una direzione di WSW-ENE. La nebulosa ha una forma tondeggiante con una leggerissima

elongazione che è quasi impossibile individuare con strumenti di diametro più piccoli. La sfida così come per i dettagli al centro, rimane aperta ai visualisti più ardimentosi.

La ripresa digitale

Il contributo dei nuovi sensori e di una tecnologia sempre più avanzata ha portato oggi ad un notevole sviluppo nella ripresa di oggetti deboli e in particolare delle nebulose planetarie, tuttavia, nonostante le migliori tecniche e software sempre più potenti a disposizione dei dilettanti, NGC 1535 rimane un oggetto moderatamente difficile. La difficoltà risiede nelle sue piccole dimensioni che in qualche modo ostacolano notevolmente la ripresa nel caso in cui dovessimo evidenziarne i più fini dettagli dell'interno; inoltre, la sua modesta elevazione dall'orizzonte non aiuta molto per cui è necessario attendere una serata con una buona stabilità termica. A testimonianza di quanto detto, la maggior parte delle immagini amatoriali se non sono effettuate con grandi strumenti in località idonee, mostrano solo una struttura a doppio guscio con la stella centrale e in rari casi variazioni di luminosità del guscio interno. Per ottenere lavori di un certo livello al di là della strumentazione in possesso e della località, bisogna usare dei precisi accorgimenti badando ad ammortizzare l'effetto distruttivo prodotto dal seeing.

Come esempio generale di quanto questa nebulosa possa essere difficile da riprendere anche con una strumentazione di alto livello, mostriamo in figura 2 l'immagine di un'astroimager giapponese il quale nonostante abbia avuto a disposizione un Schmith-Cassegrain da 11" e una camera CCD ST10XE con AO-7, non è riuscito purtroppo a catturare i dettagli molto fini, il risultato quindi è molto al di sotto delle potenzialità strumentali.



Figura 2: Immagine del giapponese "Show-G" eseguita con un C11 f/10 e ST8E con AO-7; LRGB con tempi d'integrazione in minuti rispettivamente di 40:5:5:10 (<http://www.diana.dti.ne.jp/~show-g/index.html>).

Nel nostro tentativo di ripresa digitale ci siamo serviti di una semplice webcam modificata con sensore monocromatico, la ES640 Astromeccanica. A causa delle dimensioni ridotte di questo oggetto abbiamo ritenuto necessario aumentare la focale dello strumento raddoppiandola con una lente di barlow. Il telescopio, un newton 250 mm con 1200 mm focale, è stato quindi utilizzato a 2400 mm di focale equivalente in pieno centro cittadino. Il raddoppio della focale porta inesorabilmente ad una caduta della luminosità della nebulosa che per nostra fortuna grazie all'alta luminosità superficiale non ha rappresentato un grosso problema.



Figura 3: Immagine di un singolo frame di 8 secondi con ES640 e telescopio newton 250 mm portato a 2400 mm di focale.

In questi casi la magnitudine superficiale consente di ridurre i tempi di esposizione per congelare meglio il seeing e poter sfruttare una maggiore quantità d'immagini da sommare; nel caso dell'uso di webcam modificate questo espediente può certamente aiutare, benché si badi al raggiungimento di un numero molto alto di frame per contrastare la scarsa dinamica della singola immagine dovuta ad un sensore meno performante. Per la nostra ripresa che mostriamo in figura 4 abbiamo scelto un tempo di esposizione di 8 secondi sommando 173 immagini su 303; la scelta dei frame migliori è stata eseguita manualmente tramite il software K3CCD. Di seguito abbiamo riscontrato una certa difficoltà nell'elaborazione dovuta alla differenza di luminosità e di caratteristiche del guscio esterno e del guscio interno, ciò ha costretto, in un certo senso, a separare i due insiemi in modo da procedere con un'elaborazione differenziata.

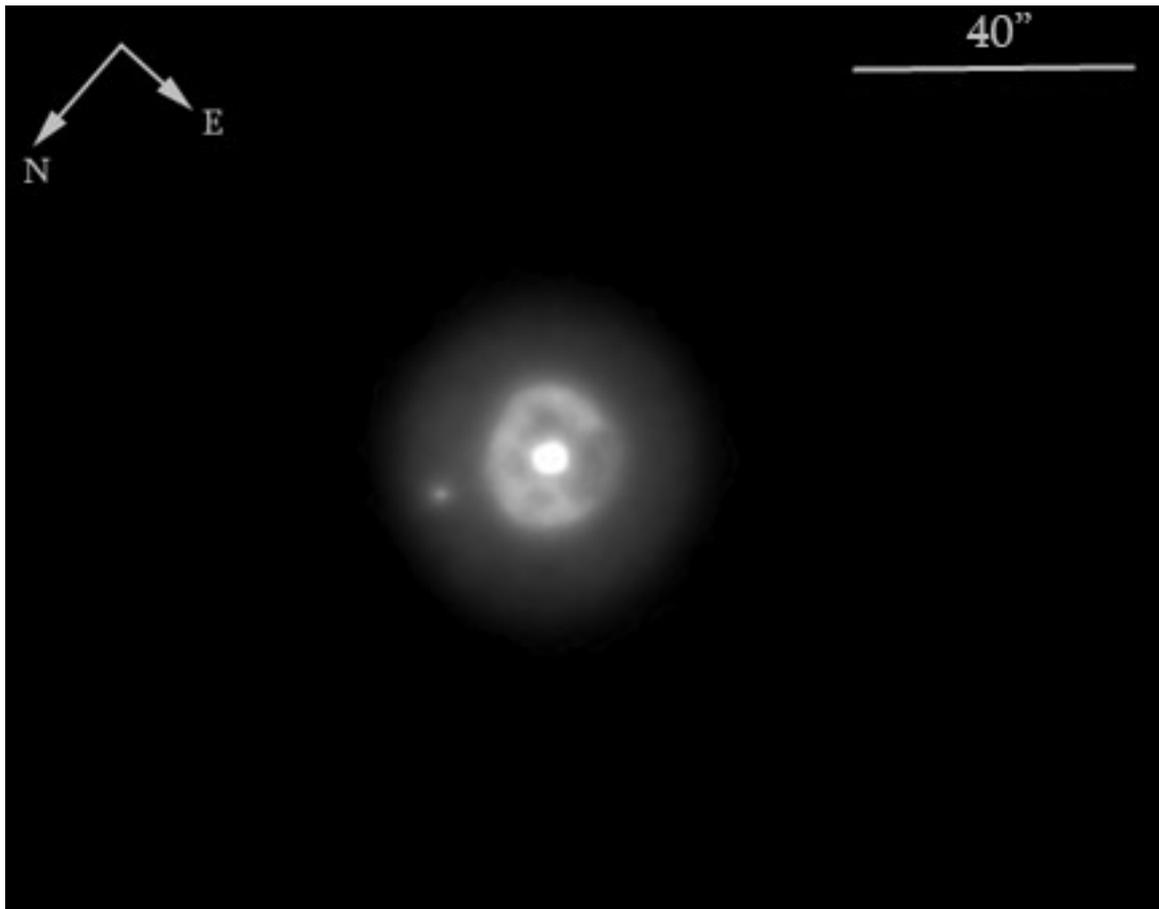


Figura 4: Immagine finale elaborata di NGC 1535, i dettagli nel testo.

Come si vede dall'immagine da noi ottenuta il guscio interno si presenta compatto ed molto luminoso mentre il guscio esterno è più esteso e uniforme ma con una luminosità molto inferiore. La maggiore estensione e la bassa luminosità creano, nel caso si lavori con questi sistemi di ripresa, una maggiore sollecitazione del rumore dovuto alla scarsa dinamica risultante nello spettro dei grigi più scuri, quindi questo va certamente trattato con maggiore cautela e con un sostegno maggiore da parte di filtri FFT passa basso. Al contrario, il guscio interno più luminoso è meno soggetto a tale difetto e la sua alta luminosità può dare qualche problema nel caso si decida di non agire separando le due parti della planetaria.

Nella nostra immagine siamo stati in grado di evidenziare le fini strutture interne che si rivelano anche in immagini professionali e che confermano un aspetto molto irregolare della struttura interna; affinché fosse possibile mettere in mostra questi

dettagli è stato necessario il trattamento separato di questa zona con un'alternanza di filtri passa basso e deconvoluzione a massima entropia. Infine, è stato fondamentale l'uso del programma Adobe Photoshop CS con i livelli multipli per contrastare maggiormente i dettagli più fini.

L'immagine risultante è quella che mostriamo in figura 4 che rappresenta con buona approssimazione le caratteristiche salienti di questo piccolo oggetto. Il difetto che possiamo solo riscontrare nel nostro lavoro risiede certamente nel bordo esterno non ben definito a causa, forse, del tempo di posa troppo breve.

L'immagine amatoriale di questa nebulosa che merita certamente il primo posto come perfezione di ripresa ed elaborazione è certamente la ripresa di Adam Block che è un ottimo esempio d'immagine a colori di NGC 1535. L'immagine mostra un livello di dettaglio notevolissimo (figura 5, a) e una grande definizione grazie alla quale è possibile osservare ulteriori dettagli. Tuttavia siamo intervenuti migliorando esteticamente l'immagine di Block e al contempo evidenziandone meglio l'estrema complessità interna della zona centrale. Operando con Photoshop a livelli separati abbiamo anche migliorato il guscio esterno eliminando la grana per cogliere le lievi sfumature (figura 5, b).

Dall'immagine risultante di Block si conferma come la zona interna ha una struttura estremamente disomogenea con caratteristiche tipiche di altre giovani planetarie come la NGC 2392 o la IC 3568. Il guscio esterno è, d'altro canto, tipicamente omogeneo ma nell'immagine di Block questa omogeneità non è completamente vera in quanto si rivela una distribuzione di luminosità tipica di una planetaria multi-guscio ellittica, infatti, lungo l'asse maggiore lo *shell* è leggermente meno luminoso che lungo l'asse minore.

Per quanto riguarda il colore di NGC 1535 l'immagine di Block mostra una netta prevalenza dell'emissione di [O III] che conferisce alla nebulosa un aspetto bluastro o verdastro in base alla modalità della tricromia utilizzata.

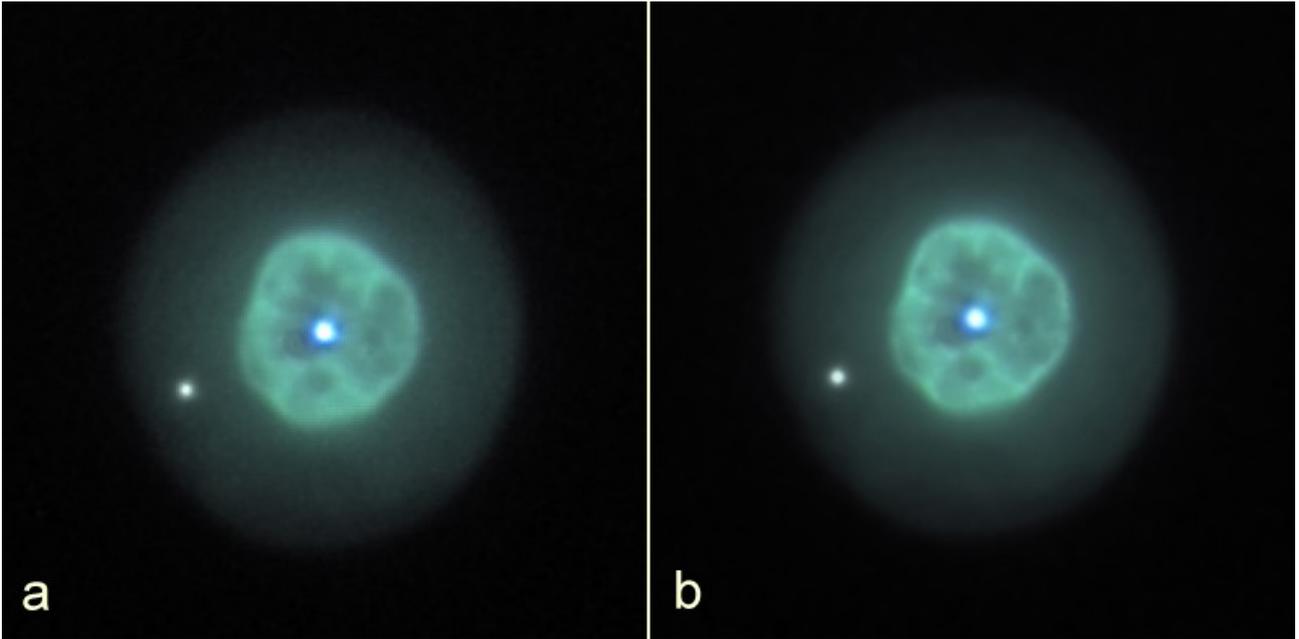


Figura 5: a) Crop originale della ripresa di Adam Block; b) immagine da noi elaborata che rivela più chiaramente le fini strutture dell'interno e le lievi variazioni del guscio esterno. I dati della ripresa sono: telescopio RC 20" Optical System operante a f/8.4 su montatura Paramount ME robotizzata, camera Sbig ST10ME con ruota porta filtri. Immagine LRGB: luminanza 40 minuti binned 1x1, rosso 15 minuti binned 1x1, verde 15 minuti binned 1x1, blu 10 minuti binned 1x1 (Adam Block/NOAO/AURA/NSF).

Caratteristiche fisiche

NGC 1535 è una planetaria giovane e brillante con un alto livello di ionizzazione con una serie di caratteristiche comuni anche ad altre planetarie. In apparenza la struttura multi-guscio è piuttosto semplice: la zona interna luminosa ha una forma sub-sferica con un profilo poco regolare di 21" d'arco diametro massimo, al suo interno i gas si distribuiscono con una struttura irregolare simile ad una rete. Il guscio esterno ha invece un brillantezza più uniforme ed omogenea, il bordo è regolare e nel suo insieme assume una forma leggermente ellittica con asse maggiore in direzione ENE-WSW e con estensione angolare complessiva di 44" d'arco.

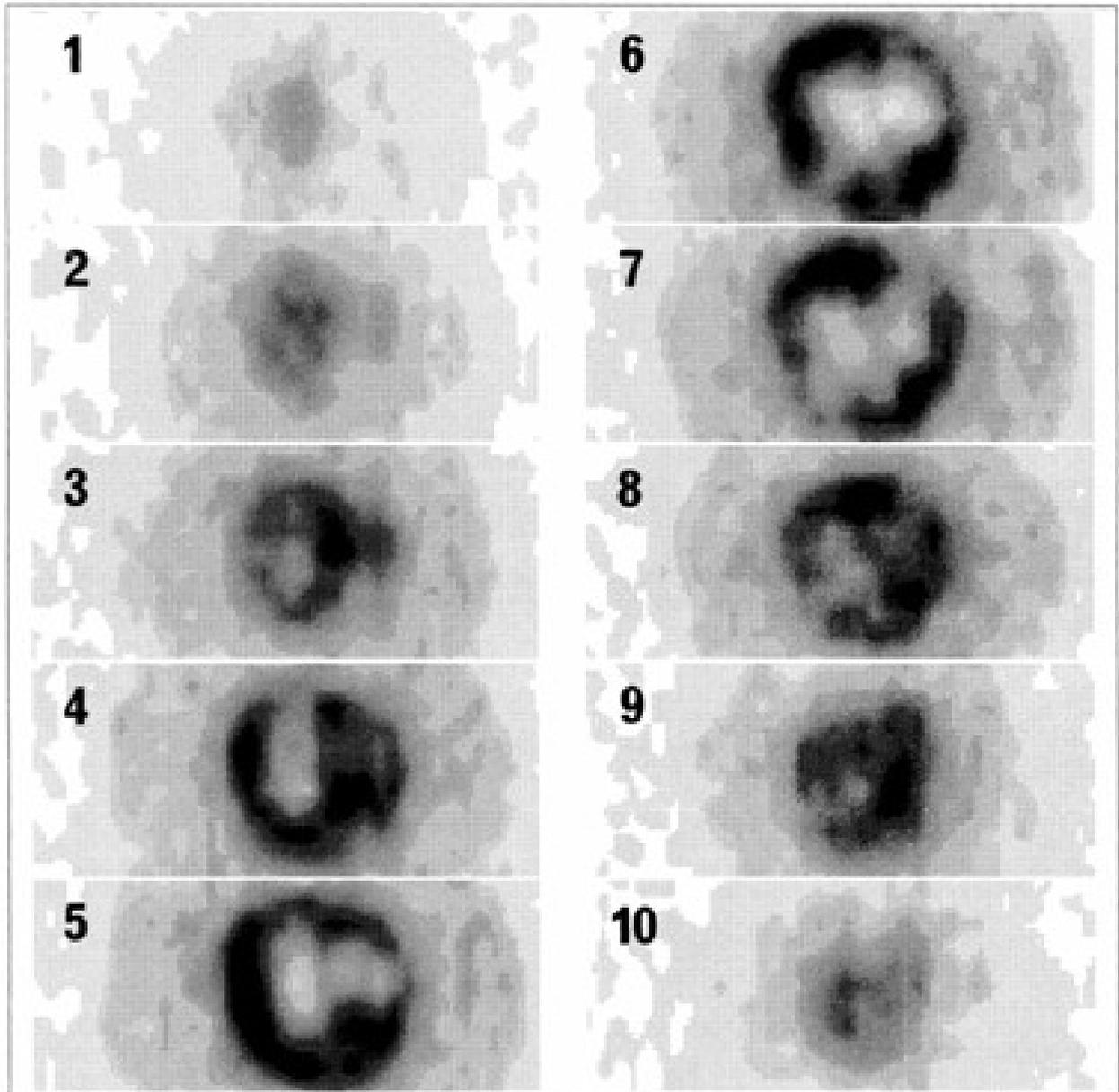


Figura 6: Serie d'immagini in scale di grigio delle sezioni centrali di NGC 1535 dove si mette in mostra l'irregolare distribuzione di materia del guscio interno. Notare la barra di densità quasi verticale presente in alcune sezioni che portò all'ipotesi della presenza di un toroide equatoriale (Clayton, 1988).

Le prime analisi approfondite sulla struttura cinematica di questa nebulosa le troviamo nel lavoro di Sabbadin et al. (1984). Dalle analisi spettrografiche condotte, in particolare sulle emissioni di [O III] e H I, gli autori mostrarono come questa nebulosa era costituita da una semplice struttura a due sferoidi coassiali ellittici con un asse inclinato, rispetto alla direzione visuale, di circa 90° . Il campo delle velocità di espansione evidenziò inizialmente una differenza notevole fra lo *shell* interno e

quello esterno, quest'ultimo infatti sembrava espandersi ad una velocità pari alla metà di quello più interno; vedremo più avanti come questo aspetto è stato rivalutato sulla base delle più moderne misurazioni spettrali.

Per ciò riguarda la struttura tridimensionale, Luise & Pascoli (1985) tentarono una prima ricostruzione geometrica della morfologia ellissoidale basandosi sulle proiezioni del campo delle velocità. Successivamente l'analisi più dettagliata del guscio interno ha portato alcuni autori a ritenere l'esistenza di alcuni flussi bipolari, infatti, l'intensa presenza di disomogeneità con zone a più alta concentrazione evidenziava, nelle misure del campo di espansione delle velocità, delle porzioni a velocità più bassa (Banerjee & Anandarao, 1991; Clayton, 1988). L'idea che le misure cinematiche mostrassero la presenza di un flusso bipolare è dovuta al lavoro di Clayton (1988) il quale ottenendo sezioni delle velocità di espansione (figura 6), in particolar modo della zona centrale in [O III], evidenziava la presenza di un addensamento di materia ad anello quasi planare associabile ad un toroide responsabile del flusso bipolare.

Banerjee & Anandarao (1991) confermano l'ipotesi di Clayton (1988) sulla base dei

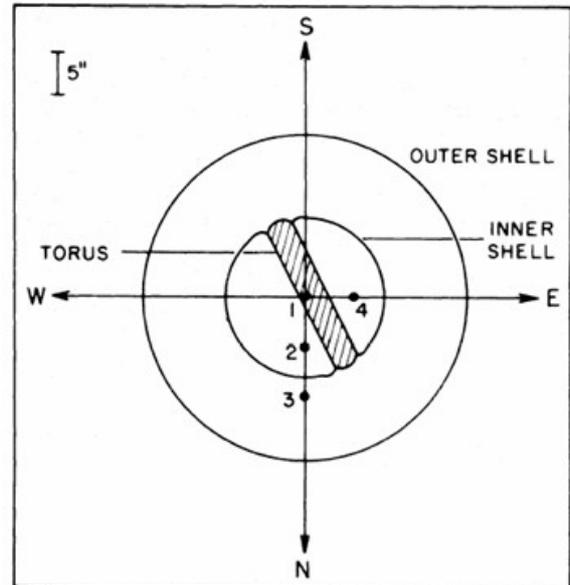


Figura 7: Modello proposto da Banerjee & Anandarao (1991) per la struttura di NGC 1535 che vede la presenza di un toroide equatoriale con asse parallelo al piano del cielo.

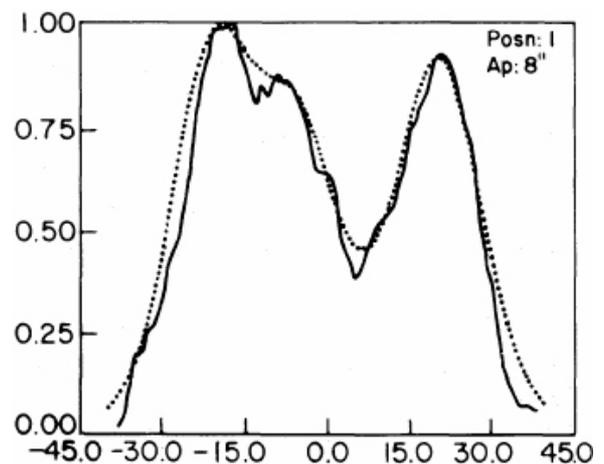


Figura 8: Profilo delle velocità del guscio centrale dove gli autori hanno evidenziato la presenza di un terzo picco della velocità che hanno associato alla presenza del toroide, tuttavia, la mancanza di una simmetria potrebbe far pesare ad una semplice zona ad alta densità (Banerjee & Anandarao, 1991).

profili delle velocità del guscio interno, osservando una terza componente della velocità di espansione più lenta rispetto al guscio (figura 8); il modello spazio cinematico, secondo gli autori, riproduce quindi un guscio interno con presenza di toroide il cui asse è quasi perpendicolare alla nostra direzione visuale e con una inclinazione di 150° rispetto al nord.

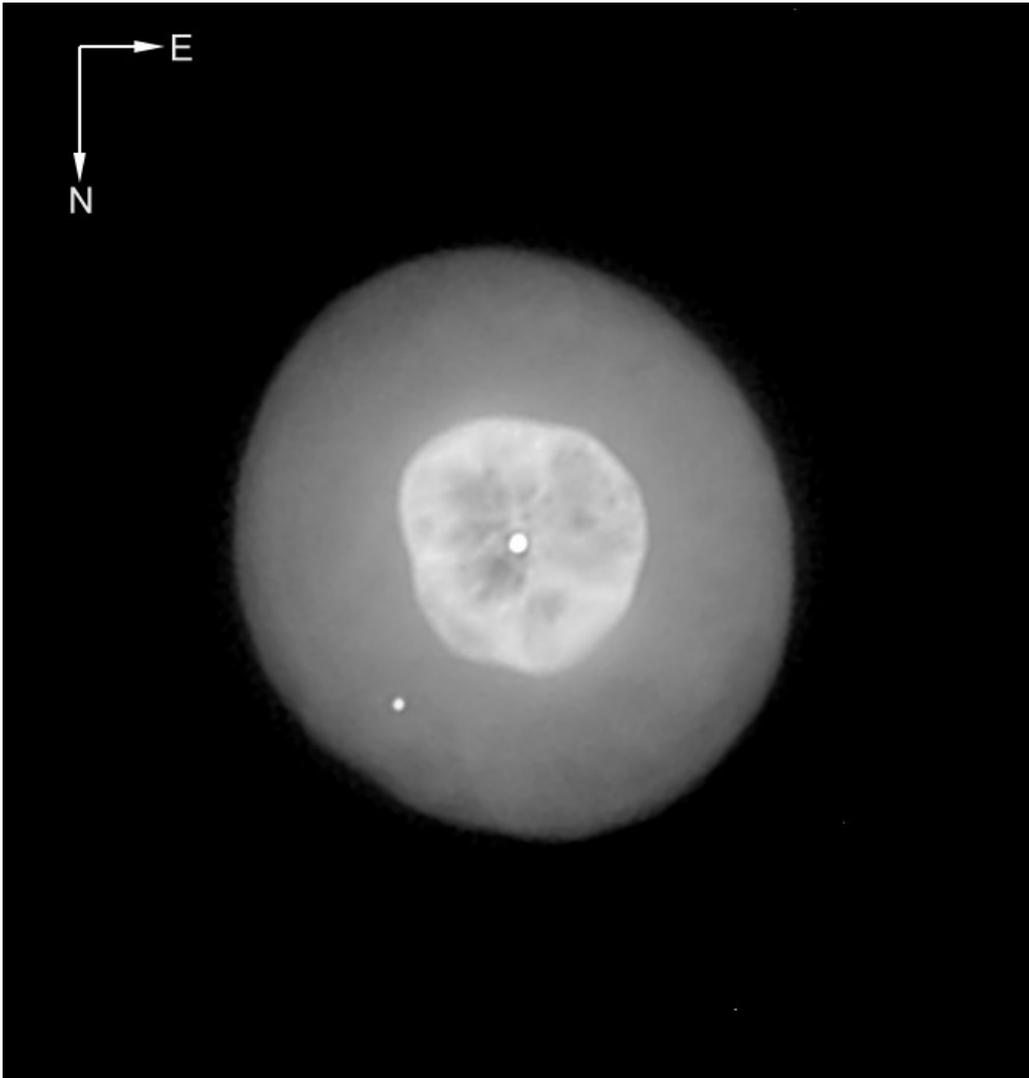


Figura 9: Immagine del telescopio NTT di 2,5 metri di R. Corradi in [S I], da noi elaborata; i dettagli nel testo.

La presenza di un toroide equatoriale è attualmente da escludere; la struttura interpretata da Clayton (1988) come toroide, altro non è che un cordone discontinuo e distorto di materia dove si rivela la presenza di zone a più alta densità che spiegano la componente di bassa velocità registrata da Benerjee & Anandarao (1991). Come si

osserva dalle sezioni di Clayton (1988) il guscio interno di NGC 1535 è fortemente disomogeneo, la materia infatti tende, oltre ad assumere un aspetto reticolato, ad una distribuzione irregolare in tutto lo *shell*. Le zone a maggior densità avranno la tendenza ad espandersi più lentamente rispetto alla velocità media registrata nell'intero *shell*.

Al fine di evidenziare la complessità del guscio interno ci siamo serviti di

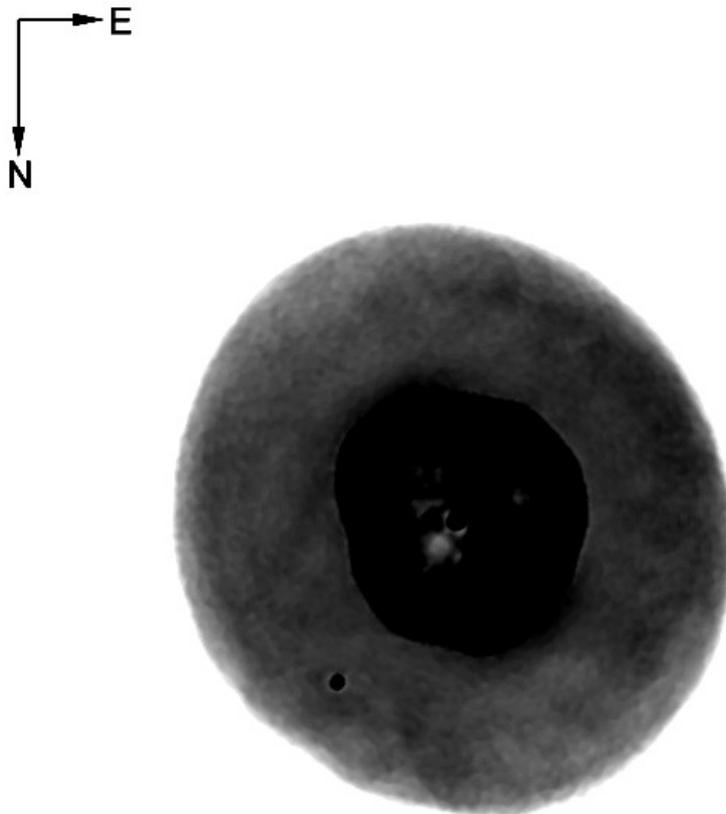


Figura 10: Stessa immagine della precedente ma invertita e con alterazione del contrasto per mettere in evidenza le delicate sfumature dello shell esterno.

un'immagine ottenuta con il telescopio NTT da Romano Corradi (figura 9). Dopo aver sottoposto l'immagine ad uno *stretching* ed applicato una deconvoluzione a piccolo raggio, abbiamo messo in evidenza quelle caratteristiche già visibili nelle

ottime riprese amatoriali. La distribuzione del gas in espansione ha una struttura irregolare e fortemente disomogena; l'aspetto reticolare e filamentoso provoca localmente zone ad alta e bassa concentrazione, questo altera nel dettaglio le velocità di espansione la cui distribuzione non è più omogenea, tant'è che il guscio interno assume un profilo fortemente irregolare.

Il guscio esterno si presenta molto omogeneo e regolare con forma ellittica, le sue caratteristiche morfologiche sono molto simili a quelle di altre giovani planetarie conosciute come ad esempio la NGC 3242, e NGC 6826. Nelle immagini del NTT da noi elaborate, il guscio esterno presenta delle leggerissime variazioni dell'intensità luminosa: lungo l'asse maggiore in prossimità del bordo esterno il guscio è meno luminoso rispetto all'asse minore, carattere analogo ad altre giovani planetarie a doppio guscio come NGC 3242. Questa caratteristica potrebbe essere dovuta ad un effetto di densità differenziale negli *shell* esterni ellittici o ad una densità prospettica per effetto di proiezione geometrica. Considerando che secondo Sabbadin et al. (1984) l'asse dell'ellissoide di NGC 1535 è quasi parallelo al piano del cielo, allora potrebbe essere vera l'ipotesi relativa ad una variazione di densità dei gas dall'equatore all'asse polare.

Per quanto riguarda la dinamica di espansione di NGC 1535, come abbiamo visto poc'anzi, Sabbadin et al. (1984) misurarono il campo delle velocità di espansione dello *shell* esterno e dello *shell* interno riportando velocità medie di espansione rispettivamente di 10 km/s e di 20 km/s. Misurazioni recenti ad opera di Schönberner et al. (2005) mostrano una situazione diversa anche se tali misurazioni non rappresentano un completo campo di velocità ma solo una misura parziale; i valori trovati dagli autori misurati per l'[O III] sono di: 21,8 km/s per lo *shell* interno (*rim*), e di 27 km/s per lo *shell* esterno. Sulla base di questi dati così come dal confronto con altre nebulose che mostrano una morfologia a doppio guscio, lo *shell* esterno ha una velocità maggiore rispetto quello interno quest'ultimo però presenta un'accelerazione più rapida (Schönberner et al., 2005), dato confermato anche da

recenti misure multi-angolo con spettroscopio a echelle (Sabbadin, comunicazione privata).

L'analisi dello spettro dei gas di NGC 1535 ci fornisce molte interessanti informazioni sulle sue caratteristiche. Innanzitutto, la disposizione delle linee di emissione è tipica delle nebulose planetarie in cui ritroviamo la forte presenza delle righe proibite quali l'[OIII], seguite da un moderato flusso di H α . L'aspetto più importante di questo spettro è la quasi totale assenza delle righe proibite delle specie a basso potenziale di ionizzazione come [N II], [S II], [O I] e [O II], mentre il flusso di [Ne III] è ben visibile nelle due righe 366,9 nm e 396,8 nm. Se ne deduce quindi che NGC 1535 è una nebulosa fortemente ionizzata da una stella centrale che secondo le misurazioni con il metodo di Zanstra mostra una temperatura di circa 70.000 K (Koesterke, 2004; Bowers, 1995; Bauer, 1995).

Aspetto importante è dato dalla presenza dell'He II, infatti, secondo Adam et al. (1985) il modello di ionizzazione di Mendèz et al. (1983) adottato per questa

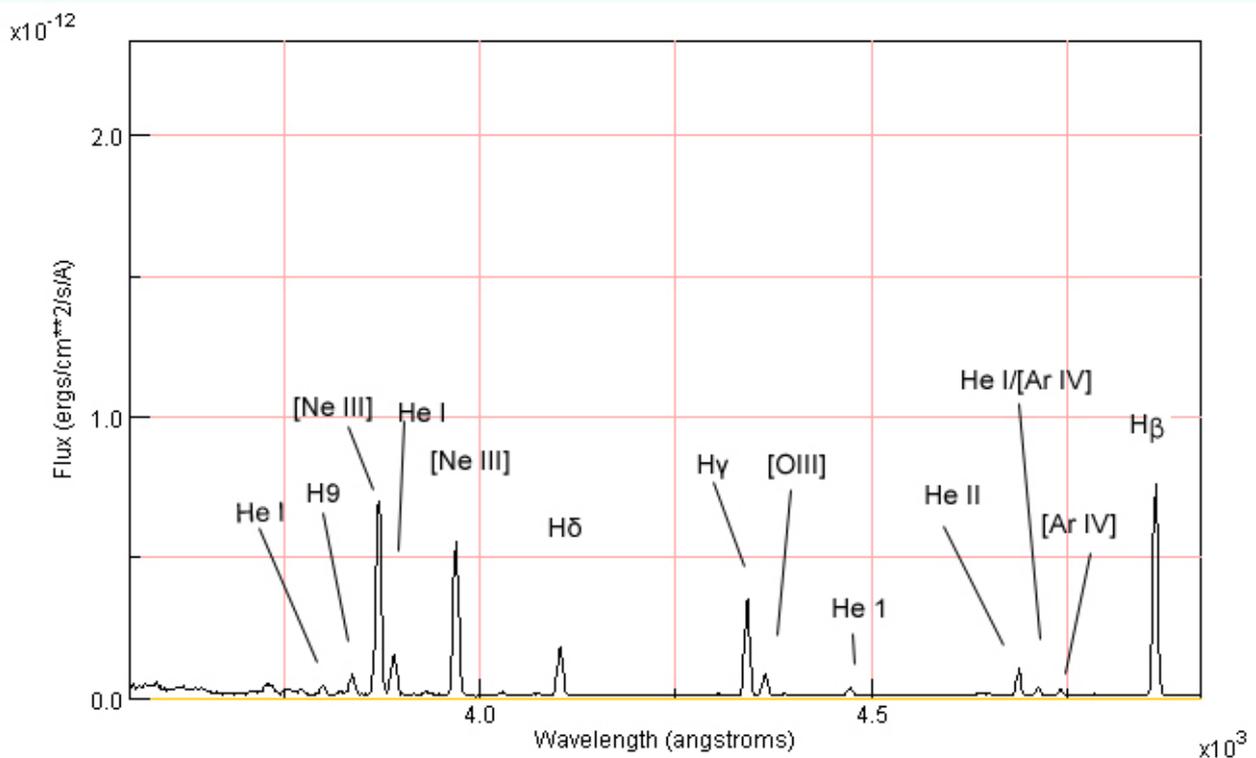


Figura 11: Spettro di NGC 1535 da 3800 a 5000 Å dove abbiamo indicato le principali righe di emissione (<http://www.williams.edu/Astronomy/research/PN/nebulae/index.php>)

nebulosa non giustifica l'intensità del flusso registrata in NGC 1535 imputando la causa dello scarto fra il dato teorico e quello osservato, all'influenza del flusso del vento stellare che contribuisce in parte alla ionizzazione del gas di elio.

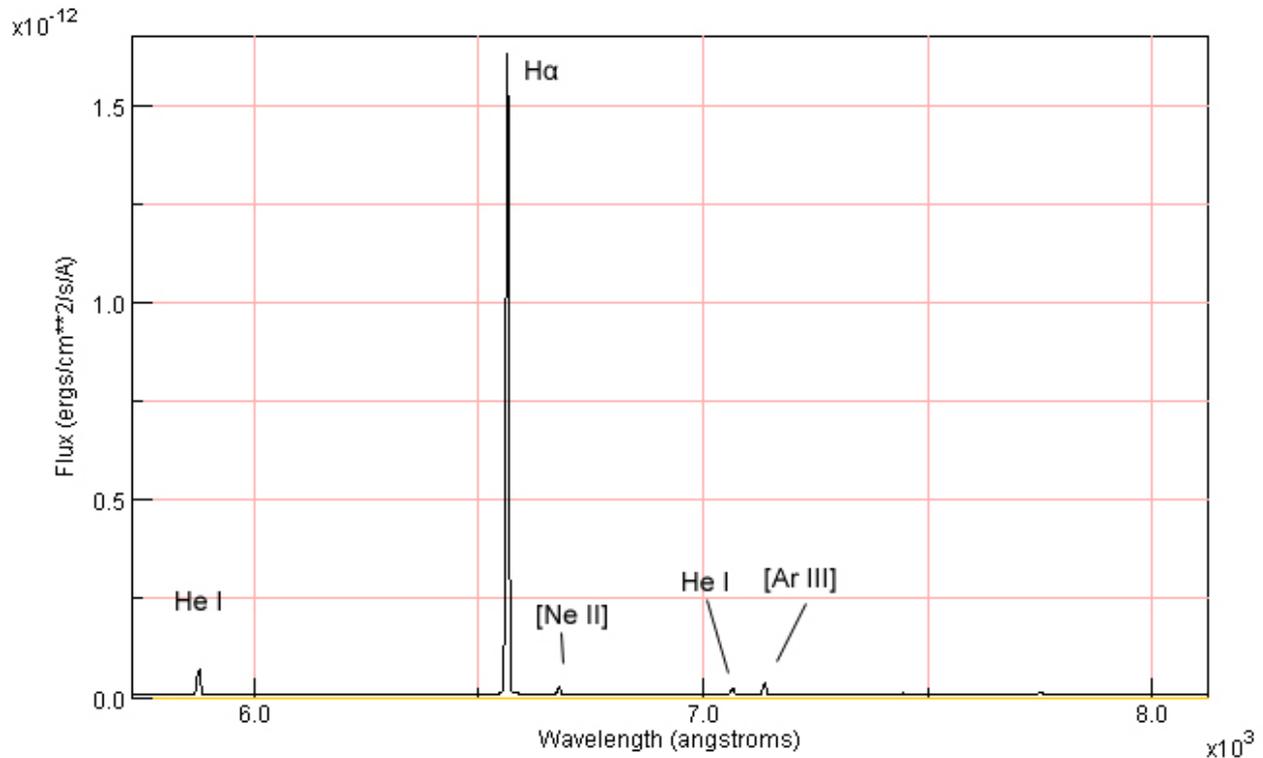


Figura 12: Spettro di NGC 1535 da 5800 a 8000 Å, notare la mancanza di [N II] e [S II] (<http://www.williams.edu/Astronomy/research/PN/nebulae/index.php>)

La presenza del forte vento stellare è riscontrabile nella porzione UV dello spettro della stella centrale dove il continuum subisce un forte incremento del flusso dovuto alle linee di C IV, [O IV], O V e N V; qui si osserva il tipico profilo P-Cygni (Bowers, 1985; Koesterke, 2004). Il profilo P-Cygni per la riga N V approssima il modello per una velocità del vento di 2100 km/s mentre per la riga O V di 1820 km/s (Adam & Koppen, 1985).

Per quanto riguarda il contenuto chimico di NGC 1535, secondo le analisi sulle basse abbondanze di Ne, O, e Ar di Barker (1989), la nebulosa presenta uno scarso contenuto in metalli motivato dal fatto che la stella progenitrice potrebbe essersi formata in una zona povera in metalli, inoltre, anche le scarse abbondanze di He, C ed N rafforzano tale convinzione. Una seconda ipotesi è da ricercarsi in bassi tenori

nei processi di mixing dell'atmosfera nebulari del progenitore.

Il contenuto in metalli nelle stelle decresce con l'allontanarsi dal piano galattico quindi una maggiore elevazione avvicina la stella all'alone galattico verso stelle di Popolazione II, NGC 1535 si colloca ad una notevole distanza dal piano galattico con un valore di circa 1,1 kpc, il che potrebbe giustificare un originario basso contenuto in metalli del progenitore.

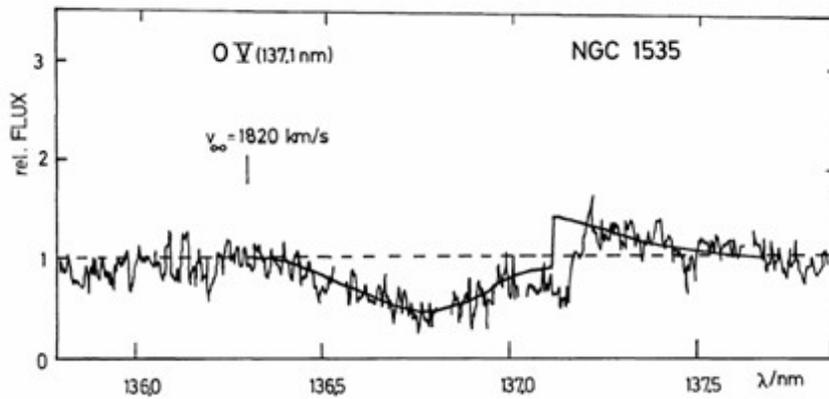


Figura 13: Andamento del flusso stellare in prossimità dell'assorbimento dell'O V, tale andamento è approssimabile al profilo teorico P-Cygni per velocità di 1820 km/s (Adam & Koppen, 1985).

L'esplorazione dello spettro nelle zone dell'ultravioletto rivela, al di sotto del limite di Lyman α (precisamente al di sotto di 1150 Å), oltre alle tipiche variazioni d'intensità del flusso dovuto ai profili di tipo P-Cygni,

forti righe d'assorbimento dell' H_2 (Bowers et al., 1995; Luhman et al., 1997). La presenza dell'idrogeno molecolare in un ambiente caratterizzato da una forte fotoionizzazione dovuta alla presenza della stella centrale molto calda, sembra a prima vista un paradosso. La presenza dell'idrogeno molecolare in nebulose planetarie era stata registrata da Kastner et al. (1996) come segno di effetti bipolari per la particolare concentrazione di questa specie molecolare nei toroidi equatoriali. Affinché l'idrogeno molecolare non venga scomposto dalla potente radiazione ultravioletta, deve esistere nella nebulosa una qualche schermatura dovuta a polveri che è in grado di mantenere il legame covalente; il fatto che gli autori abbiano trovato particolari abbondanze nei toroidi è significativo del fatto che queste strutture si formino in ambiente freddo costituito da polveri. La polvere originaria residua

potrebbe quindi fornire una schermatura sufficiente nel caso di planetarie bipolari con toroidi, mentre nei casi di planetarie ellittiche ad alta ionizzazione, l'idrogeno molecolare potrebbe non trovarsi all'interno della nebulosa ma immediatamente al di fuori, disperso nell'alone emesso durante la fase AGB dalla stella progenitrice.

Nella planetaria NGC 1535 è registrata la presenza di H₂ il quale, data l'intensità di flusso, non può essere associata ad un assorbimento interstellare a causa della elevata latitudine galattica dell'oggetto, mentre la colonna di densità tende a far pensare che l'idrogeno molecolare sia strettamente legato all'alone che la circonda (Bowers et al., 1995; Luhman et al., 1997).

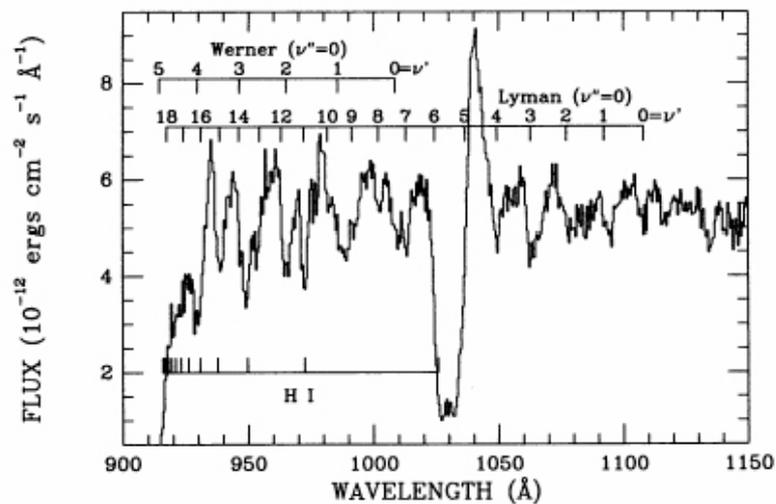


Figura 14: Linee di assorbimento dell'idrogeno molecolare riscontrate in NGC 1535 da Bowers et al. (1995).

Alone esterno

Immagini professionali a lunga esposizione nella banda dell'[O III] (Corradi et al., 2003) hanno evidenziato la presenza di un alone che circonda NGC 1535. Questo alone presenta una struttura assai simile ad altre planetarie note; con i suoi 90'' d'arco di raggio dal centro della nebulosa, è composto da una serie di gusci concentrici chiamati *rings*.

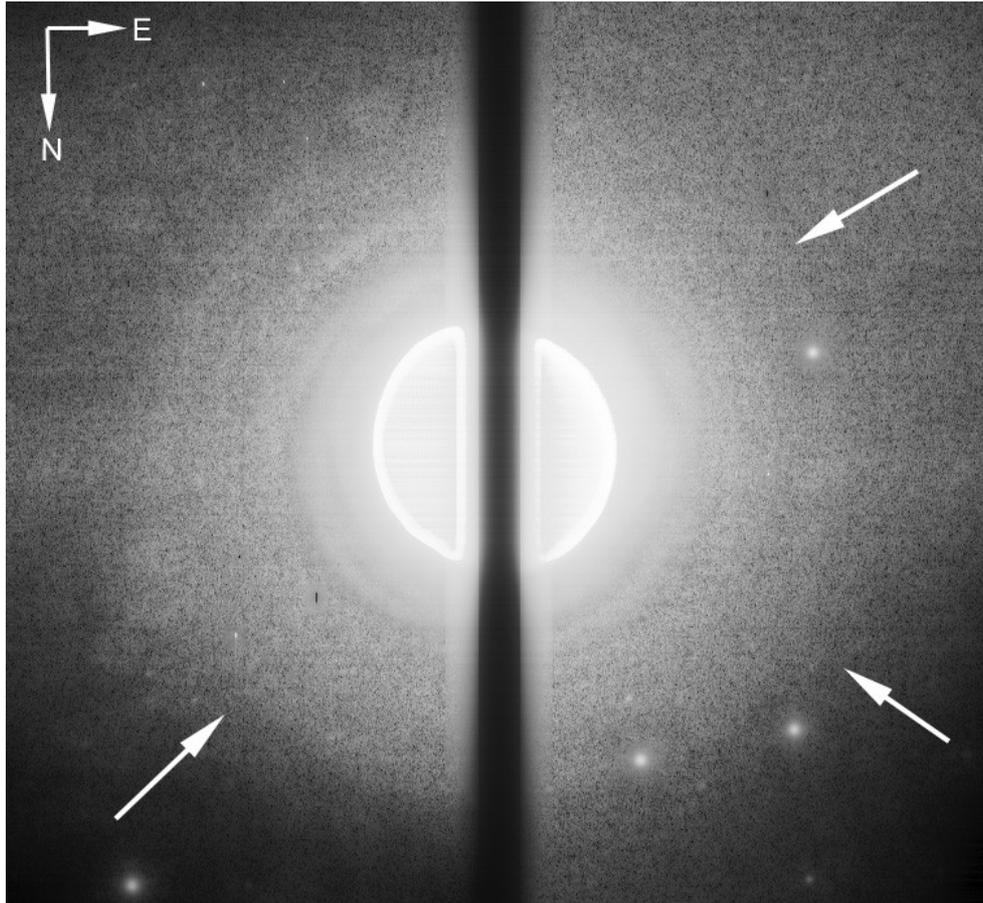


Figura 15: Immagine dell'NTT di R. Corradi in [OIII] da noi elaborata per evidenziare il limite esterno dell'alone. Notare la struttura a gusci concentrici. La banda nera centrale è una mancanza di copertura del CCD.

In NGC 1535 i gusci concentrici, specie quelli più interni, sono un po' confusi probabilmente perché molto ravvicinati, ma non si esclude la possibilità di fenomeni di intersezione fra i vari *rings*, tuttavia, quelli più esterni sono più regolari. Corradi et al. (2003) determinano la massima estensione dell'alone esterno basato su un ring incompleto in direzione SE. Elaborando l'immagine di Corradi dell'NTT in [O III] con un *stretching* dell'immagine, incrementando i valori di luminosità dello sfondo e modificandone il contrasto, abbiamo evidenziato il fatto che l'alone potrebbe avere un'estensione maggiore mostrandosi di forma circolare più o meno integro.

Purtroppo a causa della sua bassa luminosità, quasi al limite del rumore di fondo, questo aspetto dovrebbe trovare ulteriori conferme.

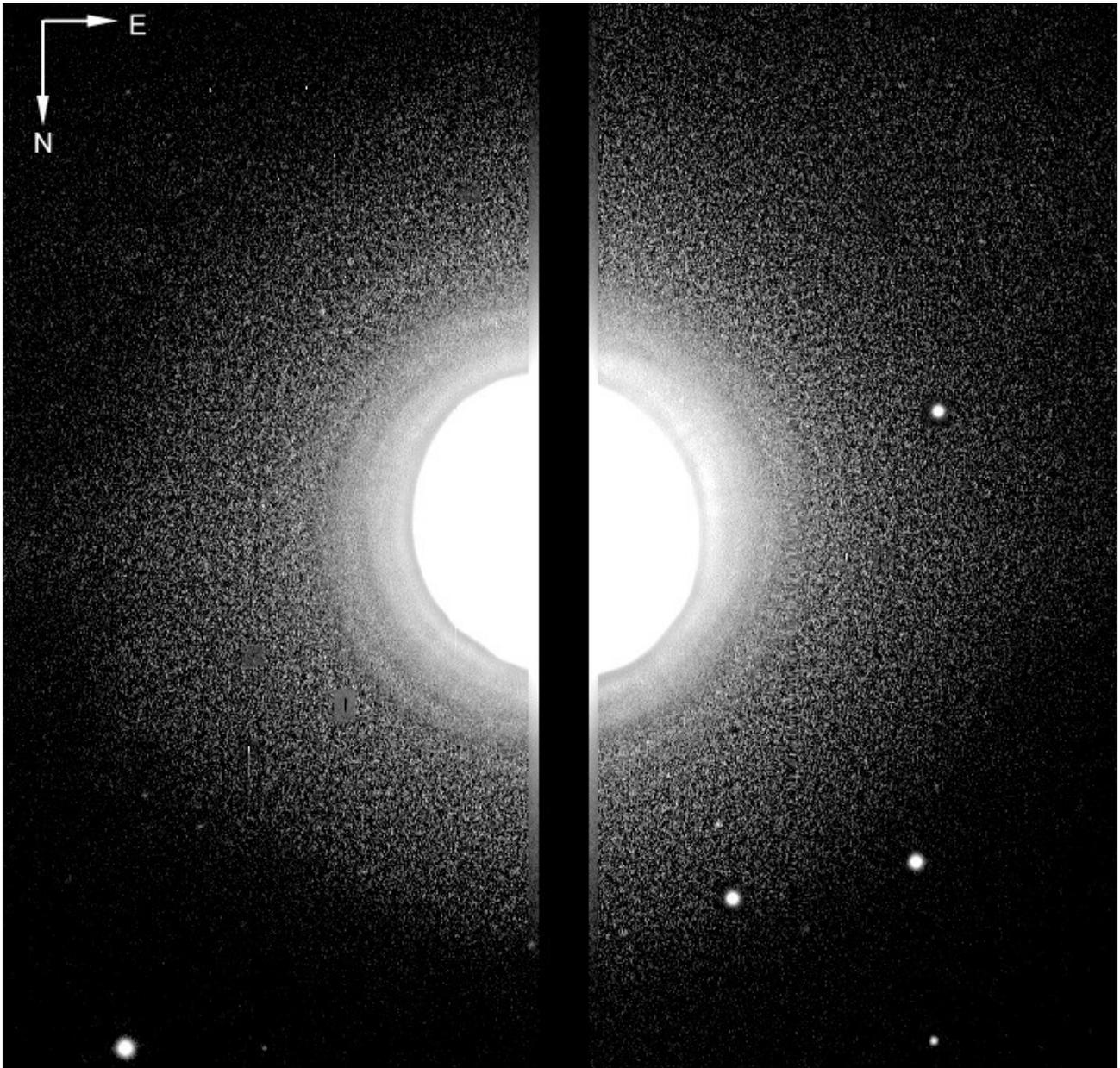


Figura 16: Stessa immagine della precedente dove abbiamo applicato un'elaborazione differente con lo scopo di evidenziare i rings concentrici in prossimità del limite esterno dello shell.

L'immagine evidenzia anche un aspetto comune ad altri aloni: la distanza fra i *rings* è proporzionale alla distanza dalla nebulosa.

La stella centrale

Al centro di NGC 1535 si trova una stella caldissima la cui emissione radiativa è in

grado di ionizzare ad alti livelli il gas in espansione della nebulosa. Le temperature misurate da vari autori riportano valori compresi fra i 50.000 K e gli 80.000 K, le più moderne misurazioni basate sul metodo di Zanstra dell'intensità dell'emissione della serie di Balmer dell'idrogeno indicano una misura di circa 70.000 K (Koesterke, 2004; Bowers, 1995; Bauer, 1995).

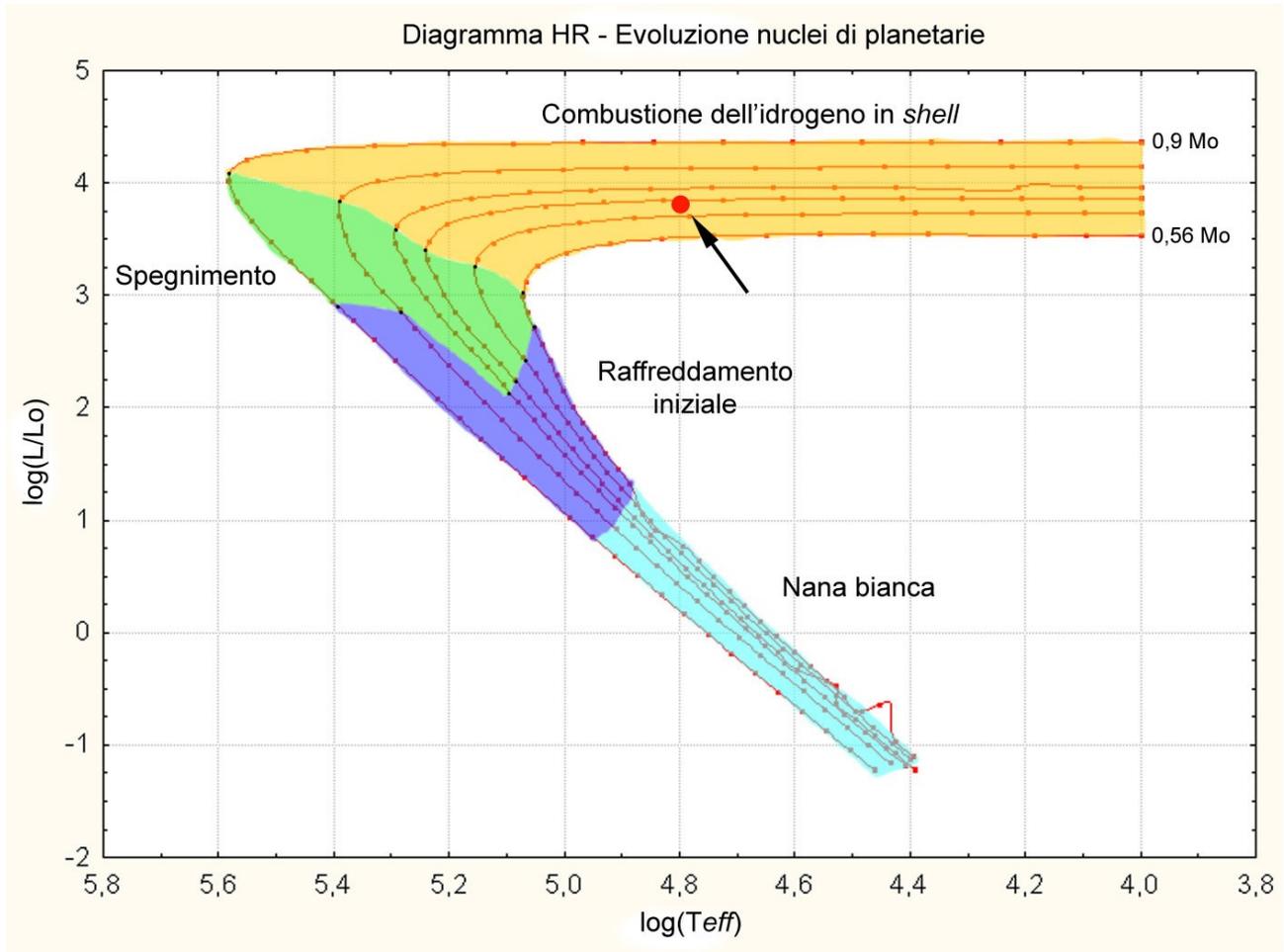


Figura 17: Posizione nel diagramma HR della stella centrale di NGC 1535 confrontata con percorsi evolutivi teorici di Vassiliadis & Wood (1994), la stella si colloca nella fase di bruciamento dell'idrogeno in shell in corrispondenza della linea relativa a nuclei di $0,6 M_{\odot}$.

Adottando una magnitudine visuale di 12,08 ed una distanza di 1,8 pc, ricaviamo una luminosità di $\text{Log}(L/L_{\odot}) = 3,74$, concorde con il valore trovato da Sabbadin et al. (1984); riportando il valore di luminosità e di temperatura efficace nel diagramma HR il nucleo cade lungo il percorso evolutivo della fase di bruciamento dell'idrogeno

in *shell* ed esattamente in prossimità della curva di Vassiliadis & Wood (1992) relativa a masse di circa $0,6 M_{\odot}$ in accordo con i valori di $0,66 M_{\odot}$ (Bauer, 1995), $0,63 M_{\odot}$ (Heap & Augensen, 1987), $0,67 M_{\odot}$ (Mendez et al., 1988).

Per quanto riguarda il calcolo del raggio sulla base della funzione:

$$2\text{Log}(R/R_{\odot}) = \text{log}(L/L_{\odot}) + 4\text{log}(T/T_{\odot}) \quad (1)$$

abbiamo ricavato un raggio di $0,51 R_{\odot}$ un valore sovrastimato rispetto a quello ottenuto da Sabbadin et al. (1984) di $0,39 R_{\odot}$ (con $T_{\text{eff}} = 50000 \text{ K}$), dalla seguente funzione:

$$R = [1,227 \cdot 10^{-9} F_{\nu} \exp((2,665 \cdot 10^4 / T_{\text{eff}})^{-1})]^{0,5} \quad (2)$$

dove F_{ν} è la luminosità visuale della stella.

Per quanto riguarda la tipologia spettrale essa è stata classificata come O(H), che indica uno spettro continuo con presenza di linee di assorbimento ma con una sovrabbondanza d'idrogeno in superficie; il nucleo di NGC 1535 fa parte quindi della

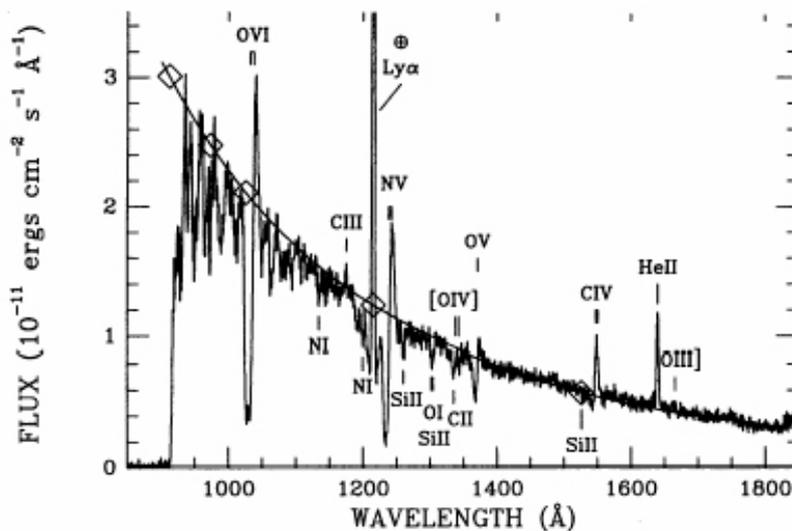


Figura 18: Spettro ultravioletto della stella centrale dove si possono osservare le intense righe di assorbimento ed emissione relative a specie atomiche fortemente ionizzate (Bowers et. al, 1995).

categoria dei nuclei ricchi d'idrogeno (*H-rich*) caldi con presenza di forti venti stellari. Nello spettro, come si vede riportato in figura 18, si osserva la presenza di atomi fortemente ionizzati come OVI e OV, ma anche di C

IV, CIII, NV e HeII.

Per quanto riguarda il calcolo della massa del progenitore Bowers et al. (1995) stimano un valore prossimo a $1,8 M_{\odot}$ sulla base dei calcoli sulla valutazione delle masse nebulari sommate alla massa della stella centrale. La massa nebulare secondo Bowers et al. (1995) ammonta a circa $1 M_{\odot}$ un valore al quale va integrato $0,03 M_{\odot}$ dell' H_2 .

Il valore totale della massa nebulare ionizzata riportato da Bowers et al. (1995) è superiore rispetto a quanto riportato da altri autori: $0,13 M_{\odot}$ Sabbadin et al. (1984) e $0,093 M_{\odot}$ Méndez et al. (1992).

Se applichiamo la relazione di Wood (1992) che lega la massa di una nana bianca (M_{wd}) a quella del progenitore (M_{MS}) attraverso l'equazione:

$$M_{wd} = A_{if} \exp(B_{if} M_{MS}) \quad (3)$$

dove A_{if} e B_{if} sono due valori arbitrari stabiliti in relazione alla massa della nana bianca, per la stella centrale di NGC 1535 con $0,6 M_{\odot}$ circa, otteniamo per la massa del progenitore un valore compreso fra $2,5 M_{\odot}$ e le $2,9 M_{\odot}$. L'applicazione della relazione di Wood (1992) studiata per le nane bianche, viene qui applicata considerando che durante l'intero percorso evolutivo un nucleo di una nebulosa planetaria mantenga una massa costante. Il valore di massa da noi trovato è sensibilmente maggiore rispetto a quello di Bowers et al. (1995) di quasi una massa solare. Tale valore da noi trovato trova accordo in proporzione con le opinioni di Stanghellini & Renzini (2000) in quanto secondo le loro considerazioni stelle di $3 M_{\odot}$ dovrebbero produrre nane bianche di $0,7 M_{\odot}$. La morfologia ellittica della planetaria potrebbe qui fornire un'ulteriore indicazione sulla massa della stella progenitrice, anche se al momento non è ben chiaro se stelle con masse elevate tendano più a produrre planetarie bipolari e se ciò sia sempre vero in ogni caso; secondo Calvet & Peimbert (1983) il valore di massa di una stella affinché produca una nebulosa

planetaria bipolare deve essere di circa $2,4 M_{\odot}$, purché la formazione del toroide sia unicamente dovuta a perdite di massa preferenziali nella fase AGB lungo l'equatore per rapida rotazione stellare. Sulla base di queste considerazioni un valore di massa realistico del progenitore di NGC 1535 potrebbe aggirarsi intorno alle $2 M_{\odot}$.

Conclusioni

NGC 1535 è certamente una bellissima nebulosa per la quale vale la pena dedicare sia un'attenta osservazione che una ripresa digitale. L'osservazione visuale è molto piacevole già con piccoli strumenti ma per evidenziare la struttura a doppio guscio è necessario l'uso di telescopi a partire da 200 mm. Molto più difficile è l'osservazione dell'anello del guscio centrale che è possibile evidenziare con un filtro OIII in grado di attenuare il fastidio prodotto dalla stella centrale. Con strumenti superiori possiamo distinguere ulteriori variazioni di luminosità del guscio centrale, mentre per osservare la forma ellittica del guscio esterno sono necessari strumenti di largo diametro. Consigliamo vivamente l'uso di motorizzazione in quanto un'osservazione visuale proficua, condotta ad alti ingrandimenti, necessita di grande concentrazione e di un certo quantitativo di tempo da dedicare all'oculare per discernere i dettagli più difficili.

La ripresa digitale da noi effettuata dimostra come questa nebulosa si presta bene ad essere catturata anche con una strumentazione economica, tuttavia, bisogna tener conto delle difficoltà dovute alle piccole dimensioni angolari dell'oggetto e della scarsa elevazione sull'orizzonte da latitudini europee. Una serie numerosa di esposizioni brevi può aiutare ad ammortizzare gli effetti del seeing.

Da un punto di vista fisico NGC 1535 è una planetaria nella sua fase di massima ionizzazione a causa di una stella centrale molto calda che irradia un grande flusso energetico, questo è anche indicato dallo spettro dove sono quasi assenti le linee di

emissione degli elementi a basso potenziale di ionizzazione, mentre al contrario abbiamo la presenza di He II come di altri elementi che indicano questa fase.

La nebulosa è formata da due gusci concentrici in espansione di cui quello esterno ha una velocità maggiore rispetto a quello interno sebbene quest'ultimo possiede un'accelerazione più alta.

Lo *shell* interno ha una costituzione poco omogenea con zone a più alta densità e con una velocità di espansione più bassa, questo ha fatto credere in passato che vi fosse la presenza di un toroide equatoriale responsabile di un flusso bipolare, ma tale ipotesi è stata esclusa. Lo shell esterno è più omogeneo di forma ellittica e dal profilo regolare, qui abbiamo individuato come le zone ai “poli” dell'ellisse siano meno luminose rispetto a quelle equatoriali, questo potrebbe rispecchiare un'effettiva bassa densità di queste zone.

In ultimo abbiamo analizzato l'alone esterno dove abbiamo individuato con tutta probabilità il limite più esterno dell'alone che circonda questa planetaria.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il prof. Franco Sabbadin dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, Osservatorio Astronomico di Padova, per i consigli e i suggerimenti ricevuti durante la stesura di questo lavoro.

Bibliografia

ADAM J., KOPPEN J., 1983. *Influence of the stellar wind on the nebular ionization in the NGC 1535 and 4361.* – International Astronomical Union, **386**; pp. 539-

561.

- ADAM J., KOPPEN J., 1985. *Models for the planetary nebulae NGC 4361 and NGC 1535: Influence of the stellar wind on the nebula ionization.* Astronomy and Astrophysics. Vol. **142**, 461-475.
- BANERJEE D.P.K., ANANDARAO B.G., 1991. *A spatio-kinematic model for the multiple shell planetary nebula NGC 1535.* Astronomy and Astrophysics, **250**, 165-170.
- BARKER T., 1989. *The ionization structure of planetary nebulae IX: NGC 1535.* The Astrophysical Journal, **340**, 921-926.
- BAUER F., HUSFELD D., 1995. *Metal abundance in subdwarf O stars.* Astronomy and Astrophysics, **300**, 481-492.
- BOWERS C. W., BLAIR W. P., KNOX S. L., DAVIDSEN A. F., 1995. *Hopkins ultraviolet telescope observations of H₂ toward the planetary nebula NGC 1535.* The Astrophysical Journal, **444**, 748-757.
- CALVET N., PEIMBERT M., 1983. *Bipolar nebulae and type I planetary nebulae.* Rev. Mexicana Astron. Astrof., **5**, 319-328.
- CHU Y., GRUENDL A., CONWAY G. M., 1998. *ROSAT X-ray observations of two planetary nebulae: NGC 1535 and 3587.* The Astrophysical Journal, **116**, 1882-1885
- CLAYTON C. A., 1988. *Unexpected bi-polar motions in the planetary nebula NGC*

1535. *Astronomy and Astrophysics*, **195**, 263-268.

CORRADI R.L.M., SÁNCHEZ-BLÁZQUEZ P., MELLEMA G., GIAMMANCO C., SCHWARZ H.E., 2004. *Rings in the haloes of planetary nebulae*. *Astronomy and Astrophysics*, **417**, 637-646.

FEIBELMAN W. A., 1971. *Monochromatic photographs and isophotic contours of planetary nebulae, II; NGC 1535, 6572, 6543, 7662 and 7009*. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, **65**, 251

FEINSTEIN A., *Photometric measurements of the planetary nebula NGC 1535*. *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, **10**, 203-207.

HEAP S. R., AUGENSEN H. J., 1987. *Mass distribution and evolutionary scheme for central stars of planetary nebulae*. *Astronomy and Astrophysics*, **313**, 268-283.

HENRY R.B.C., KWITTER K.B., BATES J.A., 2000. *A new look at carbon abundances in planetary nebulae. IV. Implications for stellar nucleosynthesis*. *The Astrophysical Journal*, **531**, 928-941.

HERALD J. E., BIANCHI L., 2004. *Far-ultraviolet spectroscopic analyses of four central stars of planetary nebulae*. *The astrophysical Journal*, **609**, 378-391.

KASTNER J.H., WEINTRAUB D.A., GATLEY I., MERRILL K.M., PROBST R.G., 1996. *H₂ emission from planetary nebulae: signpost of bipolar structure*. *The Astrophysical Journal*, **462**, 777-785.

KOESTERKE L., WERNER K., KRUK J.W., LANZ T., 2004. *NGC 1535: UV Observations and Models*. Asymmetrical Planetary Nebulae III: Winds, Structure and the Thunderbird, Proceedings of the conference held 28 July - 1 August 2003 at Mt. Rainier, Washington, USA. Edited by Margaret Meixner, Joel H. Kastner, Bruce Balick and Noam Soker. ASP Conference Proceedings, **313**. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p.123.

KWITTER K.B., 1996. *A new look at carbon abundances in planetary nebulae. II. BB 1, NGC 650, NGC 1535, NGC 2440, and, NGC 7027*. The Astrophysical Journal, **473**, 304-309.

LUISE R., PASCOLI G., 1985. *Étude de trois nébuleuses planétaires de haute excitation de l'hémisphère austral: NGC 1535, NGC 2440, NGC 2452*. Astronomy and Astrophysics, **150**, 285-297.

LUHMAN M.L., LUHMAN K.L., BENEDICT T., JAFFE D.T., FISCHER J., 1997. *Near-infrared spectra of IC 59/63 and NGC 1535: comparing infrared and ultraviolet observation of H₂*. The Astrophysical Journal, **480**, 133-136.

MÉNDEZ R.H., KUDRITZKI R.P., HERRERO A., HUSFELD D., GROTH H.G., 1988. *High resolution spectroscopy of central stars of planetary nebulae I. Basic atmospheric parameters and their interpretation*. Astronomy and Astrophysics, **190**, 113-136.

MÉNDEZ R. H., KUDRITZKI R. P., SIMON K. P., 1985. *SIT Vidicon and IDS spectra of central stars of planetary nebulae*. Astronomy and Astrophysics, **142**, 289-296.

- MENDEZ R. H., KUDRITZKI R. P., SIMON K. P., 1992. *On central star luminosities and optical thicknesses in planetary nebulae*. *Astronomy and Astrophysics*, **260**, 329-340.
- PERINOTTO M., 1993. *Observed mass loss from central stars of planetary nebulae*. *Planetary nebulae: proceedings of the 155 Symposium of the International Astronomical Union; held in Innsbruck; Austria; July 13-17; 1992*. Edited by Ronald Weinberger and Agnes Acker. International Astronomical Union. Symposium no. 155; Kluwer Academic Publishers; Dordrecht, p.57.
- POTTASCH S.R., WESSELLIUS P.R., WU C.-C., FIETEN H., VAN DUINEN R.J., 1978. *Ultraviolet radiation from Planetary Nebulae II. Radiation from the Central Stars*. *Astronomy and Astrophysics*. **62**, 95-110.
- SABBADIN F., 1984. *High dispersion spectra of compact planetary nebulae*. *Royal Astronomical Society*. **209**, 889-894.
- 1984b. *A catalog of expansion velocities in planetary nebulae*. *Astronomy and Astrophysics Supplement series*. **58**, 273-285.
- SABBADIN F., BIANCHINI A., HAMAZAOGU E., 1984. *The planetary nebulae NGC 1535 and NGC 2022*. *Astronomy and Astrophysics*, **136**, 193-199.
- SABBADIN F., TURATTO M., CAPPELLARO E., BENETTI S., 2006. *The structure of Planetary Nebulae: theory vs. practice*. *Astronomy and Astrophysics*. **451**, 937-949.
- SCHÖNBERNER D., JACOB R., STEFFEN M., PERINOTTO M., CORRADI R. L. M., ACKER A., 2005. *The evolution of planetary nebulae II. Circumstellar*

enviroment and expansion properties. Astronomy and Astrophysics, **431**, 963-978.

STANGHELLINI L., PASQUALI A., 1995. *Evolutionary paths in multiple-shell planetary nebulae.* The Astrophysical Journal, **452**, 286-303.

STANGHELLINI L., RENZINI A., 2000. *Synthetic post-asymptotic giant branch evolution: basic models and applications to disk populations.* – The astrophysical Journal, **542**, 308-327.

VASSILIADIS E., WOOD P.R., 1994. *Post-asymptotic giant branch evolution of low- to intermediate-mass stars.* – The astrophysical Journal Supplement Series, **92**, 125-144.

WOOD M. A., 1992. *Constraints on the age and evolution of the galaxy from the white dwarf luminosity function.* – The Astrophysical Journal, **386**, 539-561.