

# GRUPPO ASTRONOMICO TRADATESE

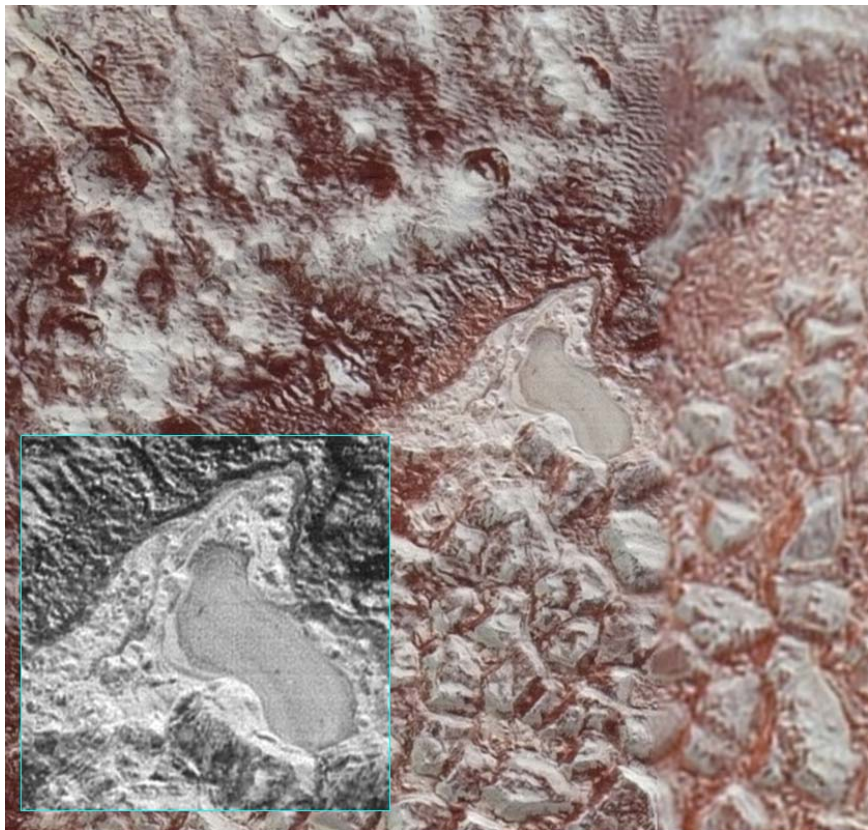
LETTERA N. 148

42° ANNO

Maggio-Giugno 2016

<http://www.gruppoastronomicotradatese.it>

A tutti i soci



Quando la realtà supera la fantasia... Questa immagine dei monti Al-Idrisi (cuspidi di ghiaccio che delimitano il bordo occidentale della pianura ghiacciata denominata Tombaugh Regio) è stata ripresa dalle camere LORRI + Ralph-MVIC con risoluzione di 130m. E' evidente la presenza di un lago di azoto ghiacciato largo 20 km e lungo circa 70 km: una chiara dimostrazione che in passato l'Azoto doveva scorrere liquido sulla superficie.

Dal 21 al 26 Marzo 2016 si è tenuto in Texas (USA) un appuntamento tradizionale e attesissimo: il 47° LPSC (Congresso di Scienze Lunari e Planetarie) durante il quale sono state comunicate le ultimissime novità su tutti i corpi solari ed extrasolari e, soprattutto, le ultime novità sui due principali pianeti nani, Cerere e Plutone. A ciascuno sono state dedicate una quarantina di comunicazioni scientifiche in gran parte raggiungibili in diretta via Internet direttamente sul sito del Congresso. Nel caso di **Cerere**, immagini ottenute dalla sonda orbitale Dawn alla fine di Febbraio da 385 km di distanza (orbita LAMO, ossia quella definitiva alla minima distanza) hanno clamorosamente risolto il mistero dei depositi chiari all'interno del cratere Occator (vedi il proseguo di questa lettera). Per quanto riguarda **Plutone** la notizia forse più interessante è il suo cambiamento climatico. In sostanza l'inclinazione dell'asse del pianeta nano (attualmente di ben 120°) mostra delle oscillazioni (con periodi di milioni di anni) durante il quale il clima diventa o più 'caldo' o più freddo. Nei periodi caldi la pressione atmosferica aumenta anche di 100 volte facendo sì che l'Azoto, attuale componente primario presente in forma di ghiaccio, diventi liquido producendo fiumi a laghi. Sì, per quanto possa essere incredibile, su quel mondo lontanissimo, circa 1 milione di anni fa l'Azoto scorreva liquido come fa l'acqua sulla Terra! Sempre dal 47° LPSC è arrivata la conferma di come terminerà la missione **Rosetta**: l'Orbiter scenderà il 30 Settembre sulla cometa 67P/CG raccogliendo dati fino a 30 metri dalla superficie

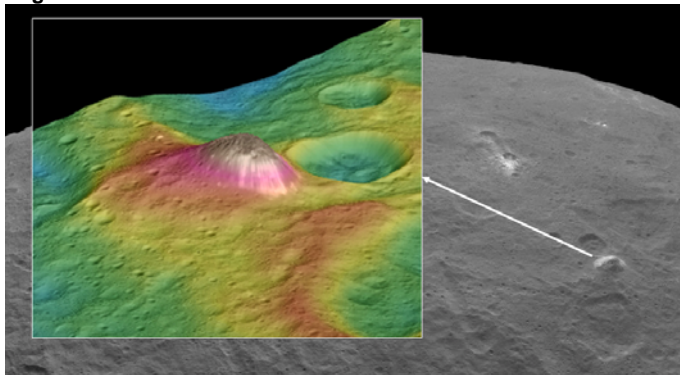
Passiamo adesso alle nostre iniziative di Maggio-Giugno 2016, che sono legate sia al transito di Mercurio sul Sole del 9 Maggio (evento astronomico dell'anno) sia alle recenti novità emerse durante il 47° Congresso americano di scienze planetarie.

Lunedì 2 Maggio 2016 h 21 Cine-Teatro P.GRASSI	Conferenza del dott. Cesare GUAITA sul tema <b><u>MERCURIO: IN ATTESA DEL TRANSITO.</u></b> <i>Grande e rarissimo spettacolo celeste nel pomeriggio di Lunedì 9 Maggio: dalle 13h12m fino alla 20h42m il minuscolo disco del pianeta Mercurio attraverserà tutta la parte inferiore del disco solare. Evento ancora più interessante dopo le recenti straordinarie scoperte orbitali della sonda Messenger.</i>
Lunedì 23 Maggio 2016 h 21 CineTeatro P.GRASSI	Conferenza del dott. Paolo OSTINELLI sul tema <b><u>ERUZIONI VULCANICHE IN DIRETTA.</u></b> <i>La storia delle più grandi eruzioni vulcaniche rivissuta attraverso immagini e filmati di grande suggestione, elaborate dal relatore su proposta e molto materiale fornito dal socio Guglielmo Di Felice.</i>
Lunedì 6 Giugno 2016 h 21 CineTeatro P.GRASSI	Conferenza del dott. Cesare GUAITA sul tema <b><u>LA RISCOPERTA DEI PIANETI NANI.</u></b> <i>Le ultime fenomenali scoperte su Cerere (sonda DAWN) e Plutone (sonda NEW HORIZONS) comunicate durante il 47° LPSC. Per la prima volta sono stati svelati al mondo gran parte dei misteri dei due principali pianeti nani.</i>
Lunedì 20 Giugno 2016 h 21 Cine-Teatro P.GRASSI	Conferenza de dott. Cesare GUAITA sul tema <b><u>ROSETTA E LA COMETA: ULTIMO ATTO.</u></b> <i>La missione ROSETTA, in orbita attorno alla cometa 67P/CG dal 6 Agosto 2014, si concluderà il 30 Settembre 2016 con un finale a sensazione: la discesa della navicella (ora in orbita) sulla superficie della cometa. Un evento che terrà col fiato sospeso il mondo intero, come successe il 12 Novembre 2014 quando scese sulla cometa il Lander Philae</i>

La Segreteria del G.A.T.

### 1) CERERE-DAWN: PRIMI DATI SCIENTIFICI.

Dallo scorso 16 Dicembre 2015, la sonda Dawn si è stabilizzata in un'orbita circolare polare a soli 385 km (LAMO, Low Altitude Mapping Orbit) da Cerere (il maggiore e più enigmatico degli asteroidi con il suo diametro di 950 km e con la sua densità di 2, legata verosimilmente a presenza massiccia di acqua). La strada di Dawn per arrivare a Vesta è stata molto lunga. Dopo un anno di lavoro orbitale attorno a Vesta (Luglio 2011-Agosto 2012) ed una successiva lunga crociera di 2,5 anni, Dawn entrò in orbita stabile attorno a Cerere alla fine di Aprile 2015 ad una distanza iniziale di 13.600 km (RC3, Rotation Characterization 3): come era logico attendersi, il pianeta nano è inizialmente apparso un oggetto quasi saturo di crateri da impatto, alcuni dei quali perennemente in ombra nelle regioni polari. C'erano però decine di crateri molto 'strani' nel senso che presentavano anomali depositi chiari al loro interno. Uno in particolare di questi crateri, denominato Occator (92 km) coincideva con la posizione di una misteriosa macchia luminosissima e persistente individuata già a partire dal 2004 da HST (il Telescopio Spaziale Hubble). Altra notevole stranezza è una giovanissima montagna conifforme (Ahuna Mons) alta 5 km e larga circa 20 km:



Successivamente, dal 6 al 30 Giugno 2015, Dawn aveva orbitato a 4.400 km di distanza (Survey), abbassandosi poi ulteriormente a metà Agosto 2015 a 1470 km (HAMO):

Orbita	Nome	Date (2015)	Altezza (km)	Risoluzione m/pixel	Periodo orbitale
1	<a href="#">RC3</a>	23 Aprile – 9 Maggio	13.600	1.300	15 giorni
2	<a href="#">Survey</a>	6-30 Giugno	4.400	410	3,1 giorni
3	<a href="#">HAMO</a>	17 Agosto – 23 Ottobre	1.470	140	19 ore
4	<a href="#">LAMO</a>	Dal 16 Dicembre	385	35	5,4 ore

Come si può vedere, con più diminuiva la distanza orbitale con più aumentava la risoluzione dei tre strumenti principali di bordo:

#### DAWN: gli strumenti



Framing Camera

Costruita e gestita da German Aerospace Agency (DLR) e Max Planck Institute for Solar System Research (MPS)



Gamma Ray and Neutron Detector

Costruito da Los Alamos National Labs (LANL) Gestito da Planetary Science Institute (PSI)



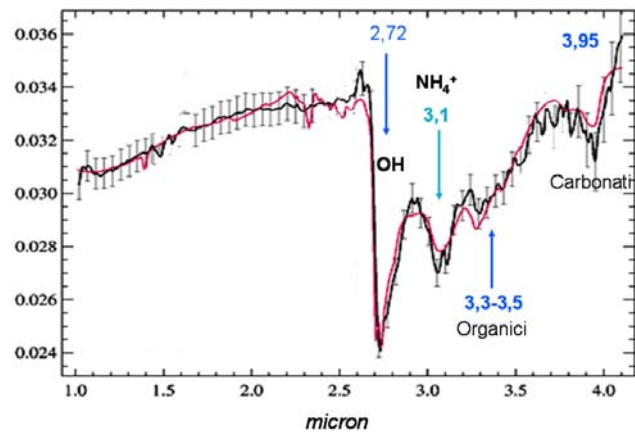
Visible and Infrared Mapping Spectrometer

Costruito da ASI (Agenzia Spaziale Italiana) e INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica) Gestito da Institute for Space Astrophysics & Planetology

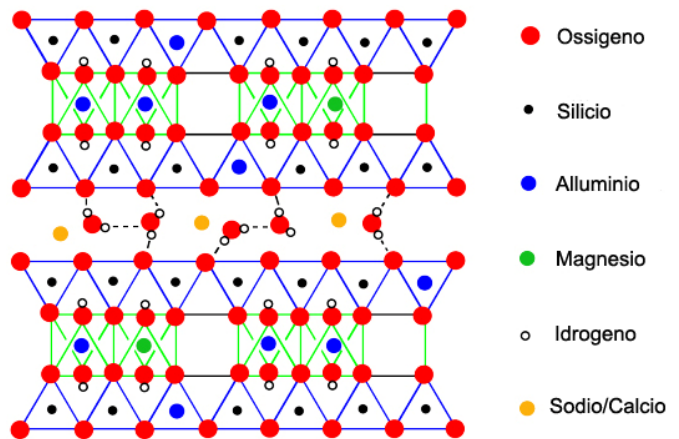
In particolare, durante le due fasi di Survey ed HAMO sono state effettuate le prime indagini spettroscopiche da parte dello spettrometro italiano VIR e sono state ottenute le prime nitide immagini di alcuni dettagli morfologici particolarmente 'sensibili' della superficie. Tra questi, depositi chiari in decine di crateri ed una strana e giovanissima montagna conifforme (Ahuna Mons) alta 5 km e larga circa 20 km.

Spettri infrarossi di Cerere effettuati da Terra nella regione 3-5 micron avevano mostrato in passato (IRTF, 1998) chiare bande di assorbimento relative ad argille e carbonati a testimonianza di un contatto presente o passato del materiale superficiale con l'acqua. L'albedo molto scuro (9%) poteva inoltre indicare la presenza generalizzata di composti carboniosi. Questi dati sono stati confermati e migliorati da un folto gruppo di ricercatori guidati da M.C. De Santis (INAF, Roma) utilizzando lo spettrometro VIR a bordo di Dawn (0,4-5 micron) da distanze variabili tra 82.000 e 4300 km (risoluzione max di una decina di km). L'albedo (alla lunghezza d'onda standard di 0,55 micron) è risultato dell' 8,8%. Dall'emissione termica tra 4,5 e 5 micron è stata ricavata una temperatura compresa tra -23°C all'equatore e -93°C nelle regioni polari: valori decisamente troppo elevati perché possa persistere del ghiaccio in superficie senza sublimare.

Gli spettri VIR da 2 a 4 micron mostrano quattro assorbimenti principali: a 2,72 micron (OH legato a silicati), a 3,1 micron (ione  $NH_4^+$  ammonio, legato a silicati), a 3,4 micron (materiale carbonioso) e a 3,95 micron (carbonati). Del tutto assenti sono invece le bande del ghiaccio a 1,5 e 2 micron:



Secondo gli autori (M.C. De Sanctis et al. *NATURE*, 528, 241-44, Dicembre 2015) le sostanze che meglio si adattano a questo tipo di spettro sono dei materiali argillosi (silicati degradati da acqua) nelle quali qualche metallo (Mg, Ca, Na, Al) è stato sostituito da  $NH_3$  (ammoniaca) sotto forma di ione  $NH_4^+$  (ammoniated *Phyllosilicates*):



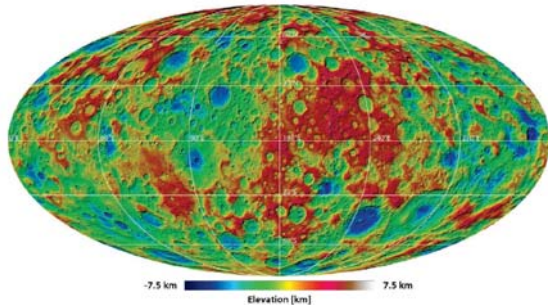
Se questa interpretazione (sicuramente possibile ma non assoluta) venisse confermata ne deriverebbero conseguenze importanti sull'origine stessa di Cerere. Sarebbe infatti necessario ammettere l'intervento massiccio di  $NH_3$ , una sostanza assolutamente instabile all'attuale distanza dal Sole di Cerere, e presente solo su corpi freddi e lontanissimi (tipo Plutone e i trasplutoniani). Da qui l'idea che Cerere si possa in realtà essere formato al di là di



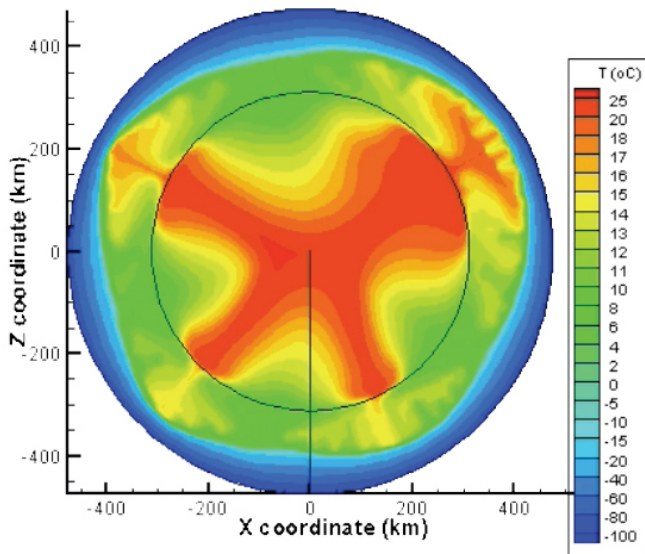
Nettuno e possa essere poi stato in qualche modo dislocato verso la fascia degli asteroidi. Un'ipotesi neanche tanto assurda se si considera che Cerere (unico tra tutti gli asteroidi) ha una densità molto bassa (poco più di 2, come Plutone) quindi una massa composta per almeno il 30% di ghiaccio.

La stessa analisi spettrale ha in parte chiarito anche la natura di Ahuna Mons: la sommità piatta ha composizione simile a quella del terreno circostante, ma i versanti dritti e scoscesi mostrano eccesso di carbonati e scarsità di argille ammoniacali: questo lascia supporre che si tratti di sollevamento di terreno profondo la cui natura vulcanica (o non) è tuttora in corso di esame (essendo questo oggetto unico nel Sistema Solare).

Per quanto riguarda la morfologia globale è stato sorprendente constatare come ci siano notevoli dislivelli (da +7 km a -7 km !) distribuiti in maniera omogenea un po' su tutta la superficie:



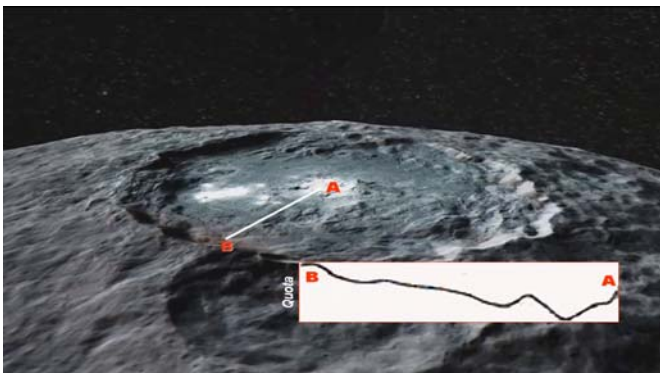
Il modo più semplice per interpretare questa situazione (B. Travis et al.) è quello di pensare alla risalita di calore primordiale attraverso una matrice parzialmente differenziata:



L'interno di Cerere 1,5 miliardi di anni fa.

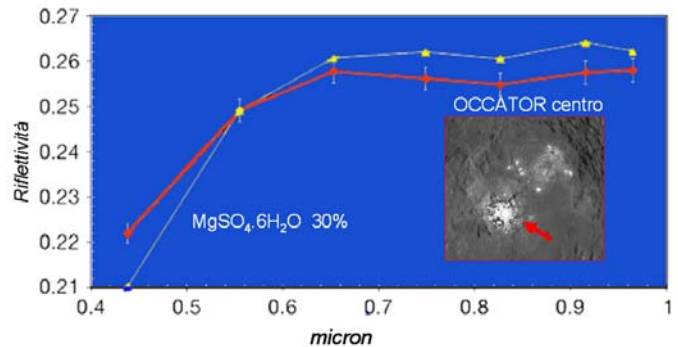
## 2) RISOLTO IL MISTERO DI OCCATOR.

Per quanto riguarda il misterioso deposito chiaro all'interno del cratere Occator, le prime immagini Dawn (ossia quelle in orbita alta) furono sorprendenti. Sul fondo di Occator c'era infatti non una ma una moltitudine di macchie chiare:

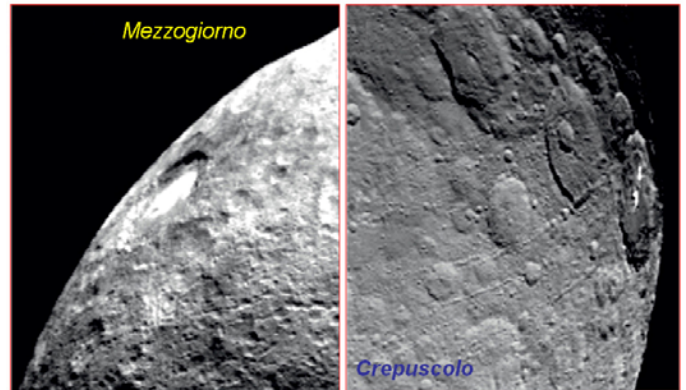


Il maggiore di questi depositi si trova al centro del cratere, laddove c'è anche un'infossatura larga di 10 km e profonda circa 500 metri. Da questa infossatura si diparte verso Est un sistema di fratture lungo le quali sono disseminate altre macchie chiare minori.

Fu inizialmente quasi ovvio pensare a depositi di ghiaccio fuoriusciti dal sottosuolo in conseguenza del trauma prodotto dalla formazione del cratere. Ma, pensandoci, la probabilità che si tratti di ghiaccio è davvero molto scarsa: nel vuoto assoluto di quell'ambiente il ghiaccio sublimerebbe molto velocemente e solo un'attività geologica persistente (leggi: crio-vulcanesimo in attività) lo potrebbe giustificare. Le cose sono state meglio chiarite da una pur grossolana indagine spettrale condotta dalla Dawn mediante la camera FR che, grazie a sette filtri da 0,4 a 1 micron, ha rilevato un leggero massimo attorno a 0,6 micron. Secondo un folto team di ricercatori guidati da A. Nathues (Max Planck Institute) si tratterebbe della chiara impronta di un materiale salino (precisamente solfato di Magnesio esaidrato,  $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ ):



In sostanza dal fondo del cratere Occator sarebbe trasudata una soluzione di acqua 'salata' che appena in superficie avrebbe perso l'acqua per sublimazione, lasciando sul terreno il sale in essa disciolto. E che l'acqua sia in qualche modo coinvolta in questo fenomeno è dimostrato da molti altri indizi. Uno risale a qualche anno fa (2011-2013) quando il satellite infrarosso Herschel, evidenziò su Occator la banda dell'acqua a 557 GHz specialmente in occasione del passaggio di Cerere al perielio. Un altro indizio, acquisito dalla stessa navicella Dawn molto più di recente (Aprile 2015), è costituito dalla scoperta di una leggera nebbia all'interno del cratere Occator che raggiunge la massima estensione a metà giornata e sparisce poi al tramonto:



Il fenomeno è supportato anche da osservazioni spettroscopiche effettuate al riflettore da 3,6 m di La Silla (spettrometro HARPS) nell' Agosto 2015 da un team di ricercatori italiani guidati da P. Molaro (INAF, Oss. di Trieste).

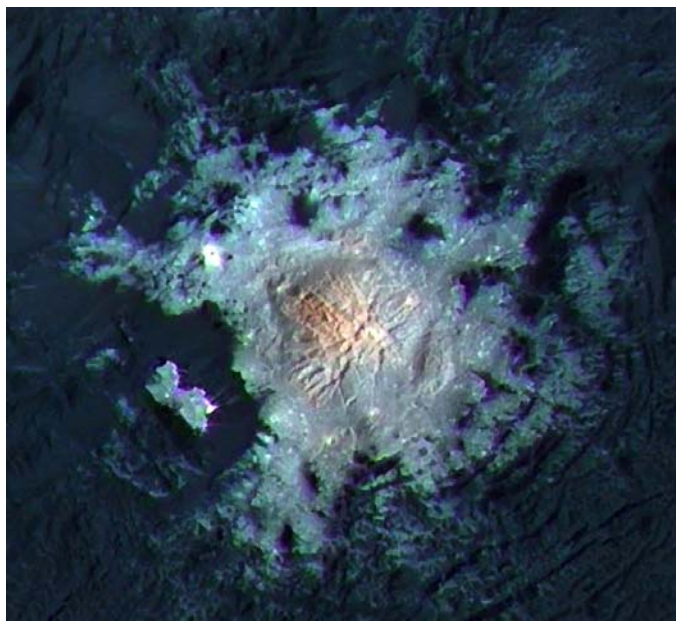
Mancava però, ancora, l'informazione principale, ossia una serie di riprese ad alta risoluzione che evidenziassero nei dettagli la morfologia geologica dei depositi chiari di Occator. Queste immagini, davvero straordinarie, sono state ottenute dalla Dawn a metà Marzo 2016 nel corso dell'attuale orbita LAMO, e sono state presentate dal team di Dawn il 22 marzo, in occasione del 47° LPSC. La 'sorgente' del deposito chiaro principale è apparsa ben differente da quanto si poteva immaginare: si tratta infatti di una montagna a forma di panettone e piena di fessure, situata all'interno della concavità di 10 km che intacca il centro di Occator ! Tutto attorno si diparte una serie di 'colate' di materiale originariamente dotato di elevata fluidità. Montagnole minori,



tendenzialmente culminanti con una specie di apertura circolare, si intravedono anche lungo le fessure che dal centro del cratere si dipartono in direzione orientale:



Molto intrigante è anche la versione a colori della montagna al centro di Occator, ottenuta combinando immagini monocromatiche ad alta risoluzione (35 m) di Febbraio 2016 con immagini di Settembre 2015 a minor risoluzione (135 m) centrate a 438, 550 e 965 nm. Il fatto che la sommità abbia una colorazione più scura delle parti periferiche fa pensare che da lì non sia uscito solo ghiaccio e sale, ma anche qualcosa assolutamente insospettabile a priori (organici dissolti in un oceano profondo?):

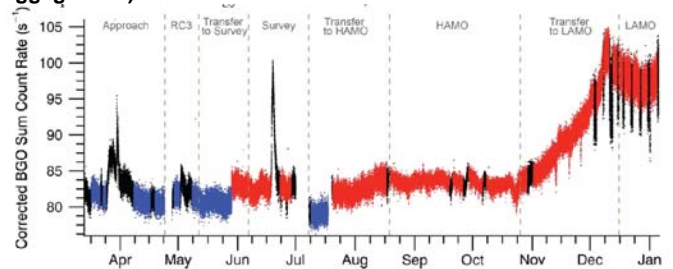


E' evidente che all'interno di Occator si è prodotto un gigantesco geyser di acqua salmastra che poi ha lasciato sul terreno solo la porzione impossibilitata a sublimare, ossia la parte salina. Una dimostrazione dell' esistenza di acqua salata al di sotto della superficie che, data la presenza diffusa (più di 100 !) di crateri con depositi chiari, potrebbe essere generalizzata su tutto il pianeta nano. Il fatto poi che il deposito all'interno di Occator sia il più rilevante di tutti si spiegherebbe con la grossa dimensione del cratere che si formò 80 milioni di anni fa su un terreno già intrinsecamente infragilito da profonde fratture. Ma in crateri ancora più giovani il fenomeno potrebbe addirittura essere ancora in atto. Lo dimostra un'altra clamorosa scoperta comunicata sempre durante il 47° LPSC: quella della presenza di ghiaccio d'acqua rilevata dallo spettrometro VIR (a bordo di Dawn) all'interno di Oxo, un cratere di 10 km formatosi poco più di 1 milione di anni fa.

Ad ulteriore dimostrazione della presenza di un guscio di acqua (gelata se pura, liquida se molto salata) ci sono almeno altre due informazioni che Dawn ha potuto raccogliere in maniera completa solo nell'attuale regime di orbita LAMO (bassissima a 385 km di altezza): le misure gravimetriche e i dati compositivi dello strumento GRaND (Gamma Ray and Neutron Detector).

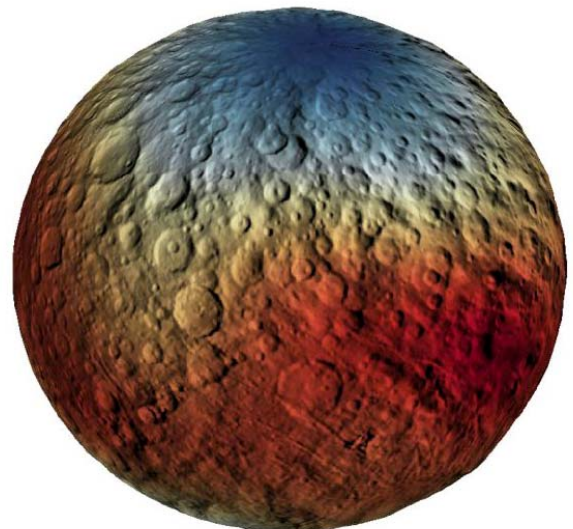
I dati gravimetrici vengono ottenuti misurando le variazioni Doppler dei segnali radio in banda X (3,6 cm). Nonostante l' elevata velocità orbitale di 980 km/h, le sensibilissime antenne del DSN ( Deep Space Network di Barstow in USA, Camberra in Australia e Madrid in Spagna) riescono infatti a misurare variazioni di soli 0,3 m/h! Queste variazioni di velocità orbitale sono dovute a variazioni locali della gravità superficiale, a loro volta legate a come sono distribuite le masse all'interno di Cerere. I risultati fin qui ottenuti parlano chiaro: Cerere è un corpo almeno parzialmente differenziato, costituito da un nucleo metallico centrale di circa 200 km, un mantello superiore di silicati idrati ed uno strato esterno di almeno 100 km di acqua fortemente salata. Una specie di piccolo pianeta insomma, cui la denominazione di pianeta nano calza a pennello.

Più delicato il lavoro dello strumento GRaND in grado di determinare la composizione elementare del primo metro di superficie dalla misura dell' energia di raggi gamma e dal numero di neutroni emessi dai vari atomi sotto l'influsso dei raggi cosmici che colpiscono direttamente la superficie di Cerere, non schermata da campo magnetico e atmosfera. Il problema è che la 'luminosità' gamma e neutronica della superficie di Cerere è molto bassa, per cui GRaND ha bisogno di accumulare dati per molte settimane e da una distanza molto ridotta. Fortunatamente, queste informazioni possono essere acquisite indifferentemente sia di giorno che di notte. Da questo punto di vista l'abbassamento dell'orbita di Dawn a soli 385 km (LAMO) si è rivelata fondamentale, nel senso che solo in questo caso i conteggi dello strumento GRaND è lievitata a valori decisamente accettabili (qui i raggi gamma):



Al momento i risultati, pur molto preliminari, sembrano confermare la presenza superficiale di ghiaccio e di elementi come Magnesio e Zolfo, implicati nella più che probabile formazione di sali trasudati in superficie al seguito di rigurgiti di acqua.

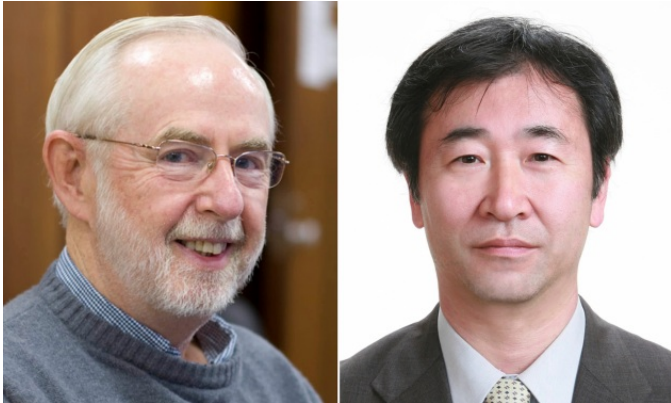
In particolare GRaND ha potuto realizzare una prima mappatura globale dei neutroni emessi dalla superficie di Cerere sotto l'eccitazione della radiazione solare. Il concetto è che con più c'è presenza di ghiaccio di H<sub>2</sub>O, con più l'idrogeno del ghiaccio limita l'emissione di neutroni. Il risultato è rappresentato da questa mappa globale, dove i neutroni diminuiscono progressivamente dal colore rosso al colore blu:



Come si può vedere di ghiaccio poco profondo ce n'è parecchio in tutto l'emisfero Nord di Cerere, con una tendenza ad un aumento della quantità attorno alla regione polare Nord.

## Neutrini, particelle che seminano “Nobel”

La motivazione primaria di questo inserto è legata al fatto che nel Dicembre 2015 il premio Nobel per la fisica è stato assegnato ad una ricerca relativa ai misteriosi neutrini, in particolare alla conferma della teoria di oscillazione (trasformazione reciproca dei tre neutrini conosciuti, elettronico, muonico e tauonico) osservata sia nei neutrini solari che in quelli atmosferici prodotti dai raggi cosmici. A ritirare il premio sono stati: il gruppo guidato da Takaaki Kajita del rivelatore Superkamiokande in Giappone e il gruppo di Arthur B. McDonald del rivelatore SNO in Canada:



La conferma dell'oscillazione implica che il neutrino sia una particella fatta di materia; pare però che il valore della sua massa sia milioni di volte più piccolo di quello dell'elettrone, una quantità talmente piccola che risulta quasi impossibile da misurare ed anche inefficiente a spiegare l'eccesso di materia 'oscura' che si suppone esistere nel Cosmo per spiegare la rotazione costante delle galassie, la stabilità nel tempo dei grandi ammassi di galassie, gli effetti di lente gravitazionale. Il Nobel 'neutrinico' del 2015 era ben il 4° dedicato allo studio di queste misteriose particelle.

Vediamo allora di sintetizzare questa lunga storia.

La materia è composta da particelle fondamentali, tra le quali vi sono i ben noti neutroni, protoni ed elettroni. Tutte le particelle elementari conosciute sono rappresentate da uno schema fisico-matematico che gli scienziati chiamano modello standard. In questo modello compaiono molte altre particelle dai nomi più disparati: tra questi il muone, un parente stretto dell'elettrone che viene prodotto dai raggi cosmici e il più misterioso neutrino. Siccome sulla Terra i neutrini vengono prodotti spontaneamente dal decadimento degli elementi instabili radioattivi, questo può far pensare che i neutrini non ci riguardino molto se non si è a contatto con tali elementi.

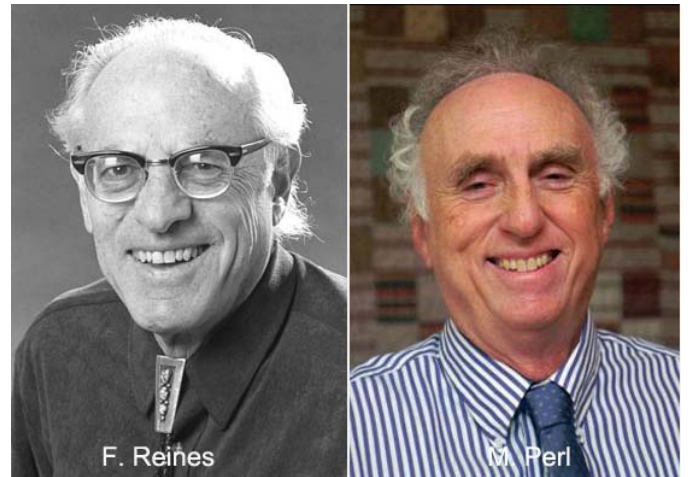
I neutrini sono invece ovunque, al punto che ne siamo sempre completamente immersi. Su ogni cm<sup>2</sup> di superficie terrestre arrivano ogni secondo dal Sole qualcosa come 65 miliardi di neutrini. Altrettanto numerosi sono i neutrini prodotti dai muoni dei raggi cosmici in atmosfera.

Allo stesso modo, ogni stella produce neutrini che sono continuamente diffusi nello spazio. Per esempio, durante l'esplosione di una supernova l'energia emessa è quasi tutta convertita in neutrini: un dato questo previsto dalle attuali teorie sulle supernove e confermato dalla supernova del 1987 comparsa nella grande Nube di Magellano (la SN1987a) che fu la prima e finora unica supernova della quale venne misurato un flusso di neutrini.

Tutti questi neutrini ci attraversano senza lasciare tracce, poiché interagiscono molto poco con la materia, quindi per visualizzare la presenza di uno di loro servono enormi rivelatori, secondo la semplice logica che aumentando la dimensione del rivelatore si aumenta la probabilità di interazione. Come accennavamo, nel corso della storia il neutrino ha prodotto direttamente quattro premi Nobel. Altri sono stati probabilmente “mancati” per cause puramente contingenti: uno di questi Nobel l'avrebbe sicuramente meritato Bruno Pontecorvo. Ma proseguiamo con ordine.

Il neutrino fu ipotizzato da Wolfgang Pauli per spiegare l'energia mancante durante i decadimenti radioattivi.

Nel 1955 Clyde L. Cowan e Frederick Reines, con uno storico esperimento suggerito da Fermi riuscirono a dimostrare l'esistenza dei neutrini (anti-neutrini) prodotti durante i processi di funzionamento di un reattore nucleare. Venne **attribuito il primo Nobel alla scoperta del neutrino** ed all'esperimento con cui questa scoperta venne effettuata. Avvenne però solo 40 anni dopo: fu attribuito a F. Reines (nel 1995 Cowan era purtroppo già scomparso), che lo condivise con Martin L. Perl per la scoperta del neutrino di tipo tau avvenuta nel 1974:



**Il secondo premio Nobel dei neutrini** venne assegnato nel 2002 a R. Davis ed M. Koshiba (assieme a A. Riccardo Giacconi per l'astronomia in raggi X):



Questo Nobel neutrinico riguarda in particolare l'astrofisica. Soggetto furono soprattutto i neutrini solari, catturati da Raymond Davis tramite un grosso rivelatore sotterraneo (tutti gli esperimenti sui neutrini cosmici avvengono sottoterra per evitare l'influenza di quelli atmosferici prodotti dai raggi



cosmici). La scoperta fu possibile grazie a un lavoro incredibile di modellazione matematica previsto e calcolato da John Bahcall. Rimaneva, però, il problema del flusso misurato che era inferiore a quello calcolato: nasceva così “il problema dei neutrini solari” e si manifestava la prima evidenza di quanto fosse peculiare questa particella.

La fisica solare negli anni cinquanta era conosciuta già molto bene, al punto che Bahcall e Davis riuscirono a capire che l'intensità dei neutrini misurata in una caverna sottoterra doveva essere direttamente proporzionale alla temperatura del Sole. Questo significa che si potevano usare i neutrini come “sonde” per conoscere i valori di temperatura della nostra stella. Davis guadagnò il Nobel nel 2002, insieme a Koshiba (e a Riccardo Giacconi) per i loro lavori pionieristici sui neutrini solari e cosmici, anche se il flusso di neutrini solari era stranamente solo 1/3 di quanto ci si doveva aspettare.

A seguito dei risultati nell'esperimento di Davis, Bruno Pontecorvo, convinto che i calcoli di Bahcall fossero giusti, propose la teoria dell'oscillazione, cioè che il neutrino potesse mutare le sue caratteristiche durante lo spostamento nello spazio. Oggi è ormai certo che la famiglia dei neutrini è composta da tre elementi distinti: il neutrino elettronico ( $e$ ), il neutrino muonico ( $\mu$ ) e il neutrino tauonico ( $\tau$ ). I primi scienziati a identificare il neutrino muonico furono J. Lederman, Schwartz e M. Steinberger con un esperimento ai limiti della fantasia. Basti pensare che il fascio di neutrini era prodotto “filtrando” i muoni (prodotti da un acceleratore) tramite una barriera di tonnellate di acciaio lunga circa tredici metri, acciaio recuperato dallo smantellamento di vecchie navi da guerra. La maggior parte dei muoni attraversando la barriera di acciaio decadeva in elettroni e due gruppi di neutrini, uno elettronico e uno muonico. I tre fisici riuscirono a identificare entrambi i tipi di neutrino e fu così che guadagnarono il **terzo premio Nobel “neutrinico”** (nel 1988) per aver scoperto il neutrino-mu:



**Il quarto e ultimo (per ora) premio Nobel ‘neutrinico’**, come abbiamo già detto, è stato assegnato del 2015 per la conferma della teoria di oscillazione osservata sia nei neutrini solari che in quelli atmosferici prodotti dai raggi cosmici.

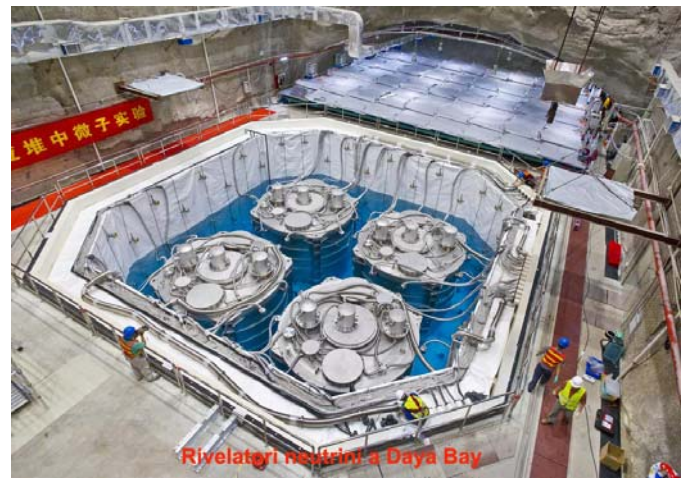
Ma la storia sul neutrino non è di certo finita.

All'orizzonte infatti ci sono altre due problemi che stanno prendendo forma. Uno dei problemi riguarda un aspetto fondamentale della fisica quantistica cioè il dualismo materia e antimateria. Ogni particella ha infatti la sua controparte fatta di antimateria e la differenza tra queste due entità sta nella carica elettrica. Il neutrino, come suggerisce il nome, non ha carica elettrica e quindi non è ancora chiaro se neutrino e anti-neutrino siano particelle distinte o se in realtà siano la stessa particella che si presenta con caratteristiche diverse. Le teorie che descrivono il comportamento di questi aspetti sono state ideate da Ettore Majorana e Paul Dirac. Nella visione

matematica di Majorana neutrino e antineutrino sono la stessa cosa, mentre per Dirac sono particelle distinte: entrambe le teorie sono valide ma una sola avrà la conferma sperimentale. Questo è comunque un problema molto complesso e difficile da dipanare: alcuni esperimenti sono stati appositamente costruiti per questo scopo e attualmente sono in corso.

L'altro problema figura riguarda di nuovo l'oscillazione. Recenti esperimenti sembrano indicare che oltre ai tre stati noti del neutrino, si potrebbe celare un quarto stato definito sterile: la definizione deriva dal fatto che questo neutrino non interagirebbe in nessun modo se non per forza di gravità, una caratteristica questa comune a ciò che viene definita “materia oscura fredda”.

La notizia di questi ultimi giorni è che in un tunnel di una montagna di granito in Cina, gli indizi dell'esistenza di un quarto stato neutrinico sono di nuovo confermati e questa volta con un alto grado di affidabilità. Il rivelatore cinese, di moderna costruzione, fa parte del complesso della centrale elettrica a reattori nucleari di Daya Bay:



Si tratta di sei reattori nucleari, che oltre che produrre energia elettrica, producono anche miliardi e miliardi di antineutrini (che dal punto di vista astrofisico equivalgono ai neutrini) che vengono spediti verso otto rivelatori neutrinici immersi in tre grandi contenitori pieni d'acqua, situati a circa 2 km di distanza. Durante questo tragitto i neutrini hanno il tempo di oscillare (una eventualità ormai inconfutabile per la quale è stato assegnato il Nobel 2015). Ma i risultati finora ottenuti si discostano dalle previsioni, facendo pensare che ci possa essere un quarto neutrino. In pratica è come se tirando un dado con sole tre facce, ci si aspetta che in base a previsioni teoriche esca 1, 2 oppure 3 con una certa probabilità: ma qui in molti casi esce uno 0 non previsto. Gli indizi sono molto alti tanto che si è intorno ad un valore di quattro sigma, laddove le scoperte vengono acclamate quando si raggiunge il famigerato cinque sigma di sicurezza statistica, oltre a una conferma da un qualche esperimento analogo.

In effetti risultati simili sono stati visti in altri esperimenti, come MINOS che fa parte del centro FERMILAB in USA, anche se con minore certezza.

L'esistenza di un quarto neutrino (così come la questione della materia oscura) è molto controversa e dibattuta. La sua conferma sarebbe una cosa sconvolgente poiché andrebbe ben oltre il modello standard delle particelle elementari oggi conosciuto. Al momento non è chiaro se sia il neutrino sterile a produrre le anomalie nei risultati degli esperimenti o qualche altro meccanismo ancora incompreso, ma un fatto è certo: il quinto Nobel sul neutrino non è lontano.