

# I DIAMANTI E LE INCLUSIONI

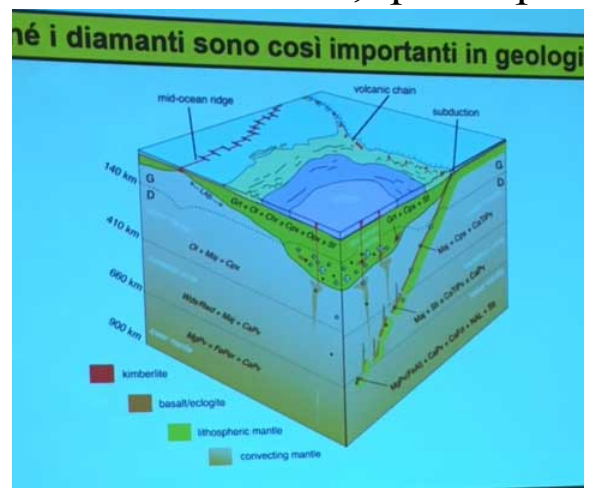
## *Oggetti preziosi per la geologia*

Riassunto della relazione del prof. **Fabrizio Nestola** Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova

I diamanti possono raccontare parecchio sulla struttura dell'interno della Terra. Sono infatti gli unici oggetti che riescono a percorrere centinaia di chilometri per raggiungere la superficie. Sono quindi materiali preziosi, e non solo perché "puri" o di grandi dimensioni. Anzi, per i geologi più sono brutti più sono importanti. Diamanti anche di poche decine di micron e molto inclusi possono avere un valore inestimabile, che si concretizza nella loro età e in quello che contengono. In questi cristalli, anche microscopici, è racchiuso il segreto delle origini della Terra. Un diamante perfetto, IF e

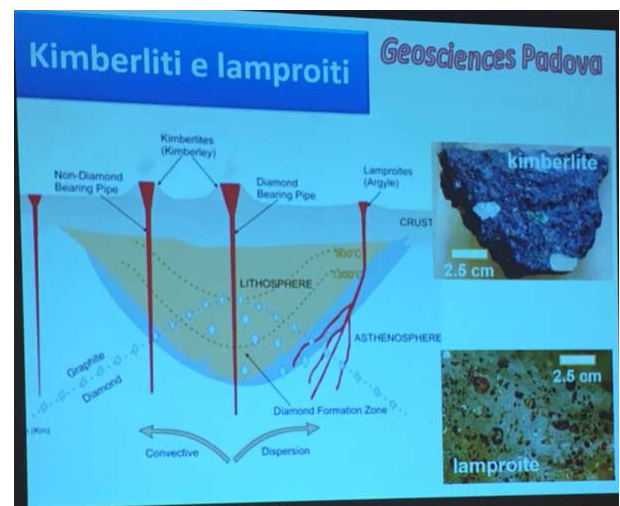
D color, rivela solo che si è formato al di sotto dei 120 km di profondità. Un diamante incluso è invece la chiave per capire meglio la struttura del nostro pianeta. I diamanti più antichi datati De Beers hanno rivelato un'età di 3 miliardi e 600 milioni di anni, quindi più della metà dell'età della Terra, che risulta essere 4 miliardi e 500 milioni di anni.

La nostre tecnologie ci permettono di esplorare e conoscere, non senza difficoltà, quel che c'è sotto allapelle della Terra fino a un massimo di una dozzina di



chilometri di profondità: in pratica, non arriviamo neppure alla metà della **crosta continentale**. Tutto quello che sappiamo della struttura e di ciò che accade al di sotto è per "conoscenza indiretta", grazie agli studi sulla propagazione delle onde sismiche, che hanno permesso ai geologi di definire modelli sempre più attendibili della composizione dei vari strati del nostro pianeta, fino al nucleo. La crosta continentale costituisce una parte molto piccola della Terra. Al di sotto si trova il mantello, che si divide in mantello superiore (fino a 410 km di profondità), mantello medio (fino a 660 km di profondità) e mantello inferiore (fino a 2900 km di profondità). Tra la crosta e il mantello si trova la discontinuità di Mohorovičić o Moho. Lo spessore del mantello rappresenta circa il 67% dello spessore totale degli strati interni della Terra. Il mantello è formato da rocce di tipo ultrafemico nella sua parte superiore, immediatamente sotto la Moho, ed è molto più rigido e denso della crosta.

Tra il mantello e la parte più interna della Terra, si estende una seconda superficie di discontinuità, chiamata discontinuità di Gutenberg. Al di sotto di essa c'è il vero centro della Terra, il nucleo, a densità molto elevata (circa 9-13 g/cm<sup>3</sup>), il cui raggio è quasi la metà di quello terrestre. Il nucleo è costituito da uno strato esterno a nichel, ferro, silicio e zolfo, che si comporta come un fluido, e uno strato interno a nichel e ferro, che si comporta come un solido. I due strati sono separati da una superficie di discontinuità, la discontinuità di Lehmann.



Il 90-95% dei diamanti si formano al di sotto dei cratoni (es. lo scudo canadese), parti molto antiche e stabili della crosta terrestre, dove non si verificano terremoti. Il 94% dei diamanti cristallizzano tra 120 e 250 km di profondità e vengono definiti diamanti litosferici. Tuttavia, una categoria di diamanti (subcratonici o di subduzione) si forma a profondità decisamente superiori. Sono i diamanti super profondi o super-deep diamonds, che rappresentano una rarissima categoria di diamanti che cristallizza a profondità tra circa 300 km e oltre 1000 km: solo il 6% dell'intera popolazione mondiale di diamanti è considerata super profonda. I "super-deep diamonds" spesso contengono inclusioni scure (non "carboni", ma pezzi di terra profonda), che forniscono informazioni fondamentali sulla struttura interna del nostro pianeta. I diamanti riescono quindi a campionare pezzi di roccia in profondità e a portarli in superficie, esattamente come i vulcani trasportano nei magmi gli xenoliti o frammenti di rocce estranee.

Qual è il processo che dà luogo alla formazione dei diamanti? Certamente non originano da grafite, perché la trasformazione grafite-diamante è un processo che richiede moltissima energia. E'

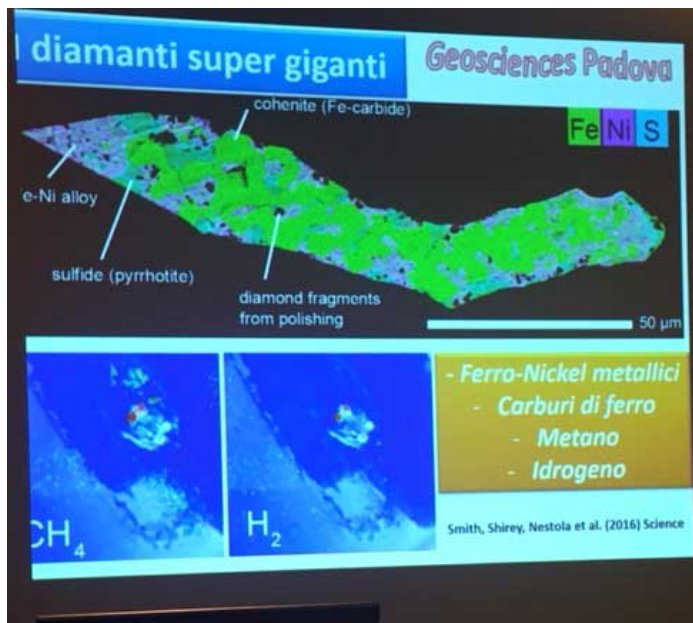


invece più probabile che fluidi ricchi in C-H-O interagiscano con le rocce circostanti del mantello e che, in condizioni di pressione, temperatura e PH adeguati, e con bassa fugacità di ossigeno, possano cristallizzare i diamanti. I diamanti super-deep provengono per la maggior parte dal Brasile e

in parte anche dalla miniera di Letseng-la-Terae in Lesotho, nota

per fornire soprattutto pietre di grandi dimensioni.

In profondità il diamante è l'unico minerale che cresce discretamente. I cristalli vengono poi trasportati in superficie da magmi kimberlitici e/o lamproitici, all'interno di rocce estranee ai magmi (xenoliti) e inglobate negli stessi. Poche kimberliti sono diamantifere. Solo lo 0,5-1% diventano miniere di diamanti.



I condotti vulcanici delle kimberliti si spingono sino a 200-250 km di profondità. I magmi normali invece hanno camere magmatiche superficiali, situate a circa 2 km di profondità. Quindi le eruzioni kimberlitiche si sono innescate direttamente in profondità e i magmi hanno raggiunto la superficie in tempi brevissimi (anche 2 ore) e senza soste. Il

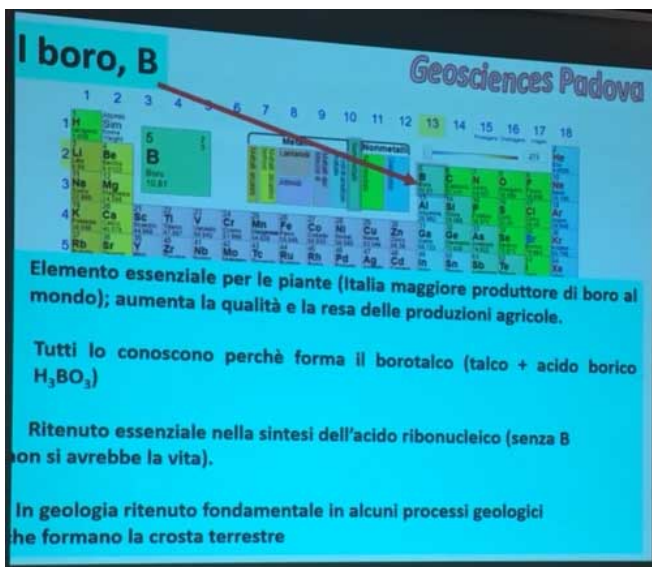
processo era direttamente in relazione alla quantità di CO<sub>2</sub> ed ha avuto luogo circa 90 milioni di anni fa.

Le inclusioni più comuni nei diamanti sono:

- olivina (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>)
- granati harzburgitici, tra i quali un granato (G10) ricco in cromo
- granati eclogitici
- magnesiocromite (Mg,Fe)Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

- solfuri (pirrotina, pentlandite, calcopirite), che sono utilizzati per effettuare le datazioni con renio e osmio.

Le inclusioni sono identificate fondamentalmente con il diffrattometro RX a cristallo singolo e con la spettroscopia micro-Raman, mentre i settori di crescita dei diamanti sono messi in evidenza con la catodoluminescenza. Il tipo di granati inclusi è importante per capire l'origine dei diamanti: da rocce peridotitiche (harzburgiti) oppure da rocce eclogitiche. Le harzburgiti sono rocce ultrabasiche a olivina e pirosseno e sono uno dei componenti fondamentali del mantello superiore. Le eclogiti, abbastanza rare sulla superficie terrestre, sono rocce molto comuni nella crosta profonda e nel mantello. Si formano durante eventi metamorfici regionali legati generalmente a zone di subduzione.

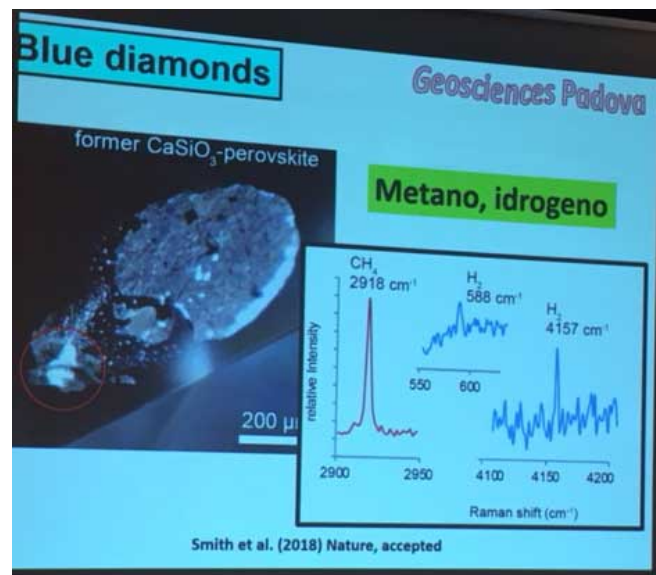


Di recente, nel 2008, è stata trovata un'inclusione molto significativa in un diamante bruno del Brasile: la ringwoodite, un minerale mai trovato prima sul nostro pianeta. La scoperta è stata fatta dal gruppo di studio guidato da Graham Pearson dell'università di Alberta in Canada, del quale

fa parte anche Fabrizio Nestola. Il nome deriva da Ted Ringwood, geologo, professore di geofisica e geochimica, che per primo nel 1969 isolò il minerale all'interno dell'olivina trovata nei frammenti della meteorite Tenham, caduta in Australia. La ringwoodite, di colore blu, è una particolare forma di olivina, minerale che costituisce la parte superiore del mantello. E' stata ottenuta anche

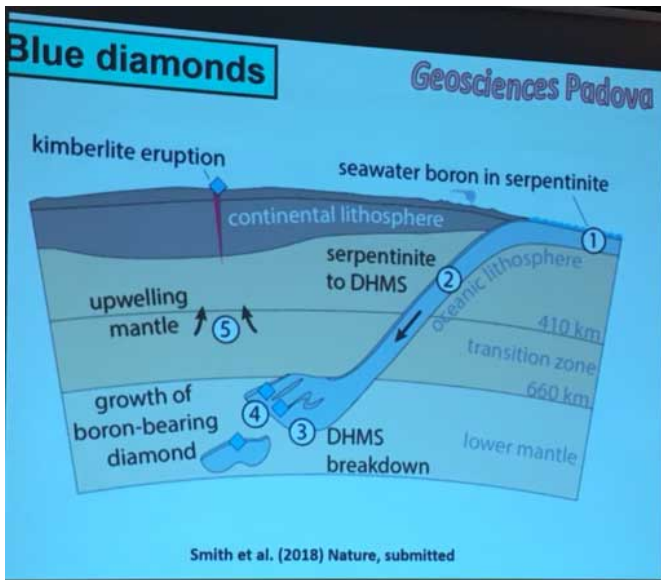
in laboratorio, sottoponendo l'olivina a pressioni elevate (20GPa) e temperature altissime (1800 °C), simili a quelle che si verificano all'interno della Terra a profondità di circa 600 km. La ringwoodite ha la stessa struttura dell'olivina, ma distanze interatomiche più piccole, quindi densità superiore (3,56 contro 3,23). Ma ha anche una caratteristica particolare e strategica per stabilire la composizione dell'interno della Terra: un picco di stretching OH nell'infrarosso. Quindi i gruppi ossidrilici entrano a far parte della struttura cristallina e quantitativamente sono presenti in ragione dell'1,4%. Questo ha fatto ipotizzare l'esistenza di grandi volumi di acqua (almeno 2 o 3 volte l'acqua alla superficie del pianeta) intrappolati tra 410 e 660 km di profondità nella zona di transizione tra il mantello superiore e inferiore della Terra. Ma come è arrivata l'acqua a simili profondità? Con la subduzione delle placche oceaniche sotto quelle continentali: in questo modo le rocce sedimentarie dei fondi oceanici, che contengono grandi quantità di acqua vengono trasportate in milioni di anni a centinaia di chilometri di profondità. Al di sotto di 660 km di profondità la ringwoodite si decompone in due minerali: bridgmanite ( $MgSiO_3$ ), che ha la struttura della perovskite, e periclasi ( $MgO$ ).

Un altro minerale che è stato trovato come inclusione nei diamanti è un silicato di calcio ( $CaSiO_3$ ) con la struttura della perovskite, contenente uno smistamento di perovskite ( $CaTiO_3$ ). Probabilmente l'inclusione è stata generata da un



minerale che conteneva entrambi, a 780 km di profondità.

In collaborazione con il GIA il team di Nestola ha studiato anche le inclusioni di 52 diamanti giganti (come il Cullinan o il Lesotho Promise). Sono stati trovati ferro metallico, carburi di ferro (cohenite), e metano ( $\text{CH}_4$ ) e idrogeno molecolare ( $\text{H}_2$ ) situati tra le



inclusioni e il diamante. Si è potuto affermare che i diamanti supergiganti crescono all'interno di tasche di ferro fuso, a profondità comprese tra i 360 e i 750 km, e confermano definitivamente la presenza di significative quantità di idrogeno nel profondo del nostro pianeta.

Come ultima tappa sono stati studiati i diamanti blu, contenenti il boro, elemento essenziale anche per le piante. Nel Cullinan dream, diamante blu di 24 carati, venduto all'asta di Christie's per 25 milioni di dollari, sono stati trovati perovskite, cohesite, metano e idrogeno molecolare. Quindi anche i diamanti blu sono super-deep diamonds, ma il boro proviene dalla superficie terrestre: infatti è dimostrato che le serpentiniti che derivano dalle peridotiti contengono tanto boro.

La sfida dei prossimi anni sarà spiegare, studiando i diamanti, l'acqua sulla Terra e all'interno della Terra e verificare se il rapporto deuterio/idrogeno dello spazio sia uguale a quello del nostro pianeta.

**Vanda Rolandi**