

L'oganesson, *last but not least*

La caccia agli elementi superpesanti

di Antonio Di Nitto

[illegible]

Fino a circa settant'anni fa la tavola di Menedeleev riportava solo gli elementi chimici presenti in natura, il più pesante dei quali era l'uranio, con numero atomico $Z=92$. Le moderne tavole periodiche, invece, presentano in tutto 118 elementi, di cui gli ultimi 26 sono stati sintetizzati in laboratorio. Iniziò tutto ai Laboratori Lawrence Berkeley, negli Usa, nel 1940 con la scoperta del nettunio (Np con $Z=93$) e del plutonio (Pu, $Z=94$), sintetizzati esponendo elementi pesanti in reattori a un elevato flusso di neutroni. Tra questi elementi superpesanti sintetizzati in laboratorio, quelli con numero atomico minore di 104 sono chiamati "transuranici", mentre quelli con numero atomico tra 104 e 118 sono detti elementi "superpesanti" o "transattinoidi", per la loro collocazione nel settimo periodo della tavola periodica. L'esistenza di questi ultimi fu ipotizzata sin dalla fine del XIX

secolo, ma solo lo sviluppo della fisica nucleare ha consentito la loro sintesi. Oggi ci si chiede, quanti altri elementi superpesanti possono esistere e quali sono le loro proprietà chimiche?

Una descrizione elegante dei nuclei atomici “naturali” è fornita dal modello a goccia liquida, che tratta il nucleo come un elemento macroscopico senza struttura, soggetto alle forze nucleari attrattive tra protoni e neutroni (come residuo della forza forte) e a quelle coulombiane repulsive, esercitate tra i protoni. Le forze repulsive generano deformazioni e, se abbastanza intense, portano alla scissione del nucleo in due frammenti di massa quasi uguale, processo noto come “fissione” (vd. in *Asimmetrie* n. 24 p. 25, ndr). Questo avviene dopo il superamento di una barriera di potenziale, la cui altezza dipende dalla somma delle forze coulombiane e nucleari. Dato che la

a.

Anno e nazione di scoperta degli elementi sintetici, prodotti dall'uomo in laboratorio con reazioni nucleari. Il primo a essere prodotto fu il tecnezio, grazie agli esperimenti condotti a Palermo da E. Segrè nel 1937 (vd. in Asimmetrie n. 6 p. 17, ndr). Durante la seconda guerra mondiale furono prodotti e/o scoperti i primi elementi transuranici. La ricerca degli elementi superpesanti continua fino ad oggi.

barriera di fissione diminuisce all'aumentare del numero atomico, è previsto un valore critico al di sopra del quale il nucleo diventa instabile e si scinde spontaneamente.

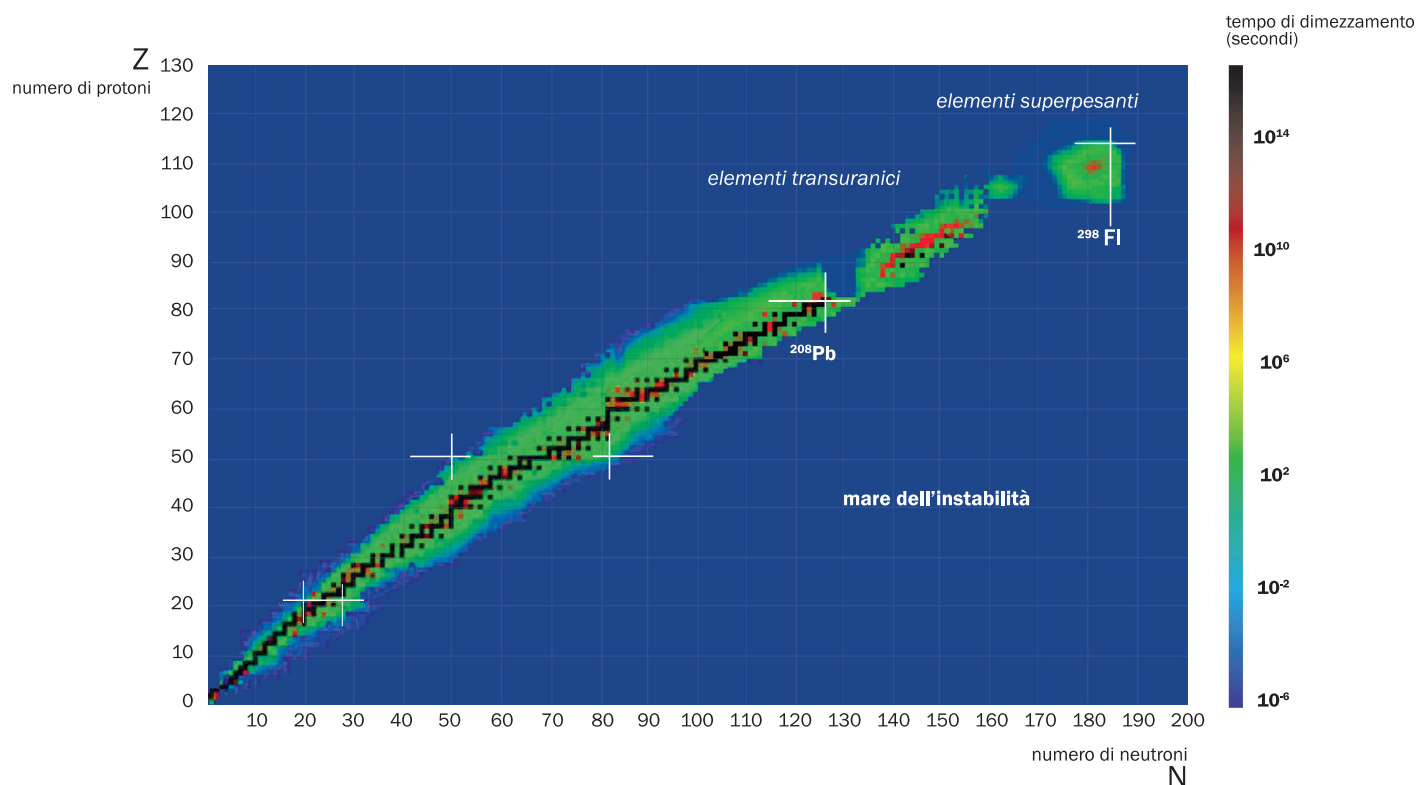
Dopo l'osservazione di un aumento della probabilità di fissione di oltre diecimila miliardi di volte nel passaggio dall'uranio-238 (^{238}U con $Z=92$) al fermio-257 (^{257}Fm con $Z=100$), si capì che il modello a goccia liquida descriveva bene anche gli elementi transuranici. Tuttavia, gli studi di isotopi poveri di neutroni, prodotti in reazioni indotte da ioni, e la scoperta degli isomeri (nuclei che hanno stesso numero di protoni e neutroni, ma con una diversa configurazione, che li rende metastabili o radioattivi) evidenziarono, negli anni '60 e '70, i limiti di questo modello e l'importanza degli effetti della struttura nucleare sulle proprietà dei nuclei pesanti.

Tali proprietà sono attualmente ben descritte dai modelli che prevedono l'esistenza di configurazioni nucleari in cui i nucleoni (protoni e neutroni) si dispongono sulle cosiddette "shell" (gusci), di energia crescente, analogamente a quanto avviene nel modello a orbitali degli elettroni atomici. Quando i numeri di protoni o di neutroni coincidono con i cosiddetti "numeri magici", cioè 2, 8, 20, 28,

50, 82, 126 (solo per i neutroni), corrispondenti al riempimento completo delle *shell*, i nuclei sono particolarmente stabili. Quando sia il numero di protoni sia quello di neutroni sono magici, si parla di "nuclei doppiamente magici". I modelli a *shell* prevedono anche l'esistenza di ulteriori numeri magici elevati, 114 e 126 per i protoni, 184 e 196 per i neutroni. Ci si aspetta che i nuclei superpesanti "doppiamente magici" e quelli limitrofi, che costituiscono la cosiddetta "isola di stabilità" della carta dei nuclidi (vd. fig. b), abbiano tempi di dimezzamento (in gergo "emivite") compresi fra qualche secondo e migliaia di anni. Negli anni '70 la ricerca cominciò a focalizzarsi sul metodo di produzione dei nuovi nuclei superpesanti. Le reazioni di "fusione-evaporazione" indotte da ioni leggeri, utilizzate fino a quel momento per la scoperta degli elementi fino al seaborgio (Sg, $Z=106$), non erano infatti praticabili per la produzione di elementi più pesanti. Ciò era dovuto sia all'impossibilità di produrre bersagli con un numero atomico maggiore di 98, che alla ridotta probabilità di fusione e alle brevi emivite degli elementi prodotti. Metodi di produzione innovativi e nuove tecniche di rivelazione erano dunque necessari.

b.

La "carta dei nuclidi", ideata da Emilio Segrè, che riporta, in funzione del numero di protoni e neutroni, i nuclei atomici osservati e previsti teoricamente. Le crocette bianche indicano i nuclei doppiamente magici. La scala dei colori mostra le emivite in scala logaritmica. Solo nella regione con numero di protoni e neutroni inferiori al piombo-208 (^{208}Pb), detta "penisola di stabilità", sono presenti nuclei stabili che formano la valle di stabilità (i quadratini neri). L'assenza di numeri magici dopo quello del piombo-208 e le elevate forze coulombiane all'interno del nucleo determinano la bassa stabilità degli elementi più pesanti: in questa regione si ha quindi l'interruzione della penisola di stabilità e la presenza di nuclei radioattivi naturali e dei transuranici. La regione estrema è quella degli elementi superpesanti, che formano un'isola nel mare (in blu nella carta) dell'instabilità.



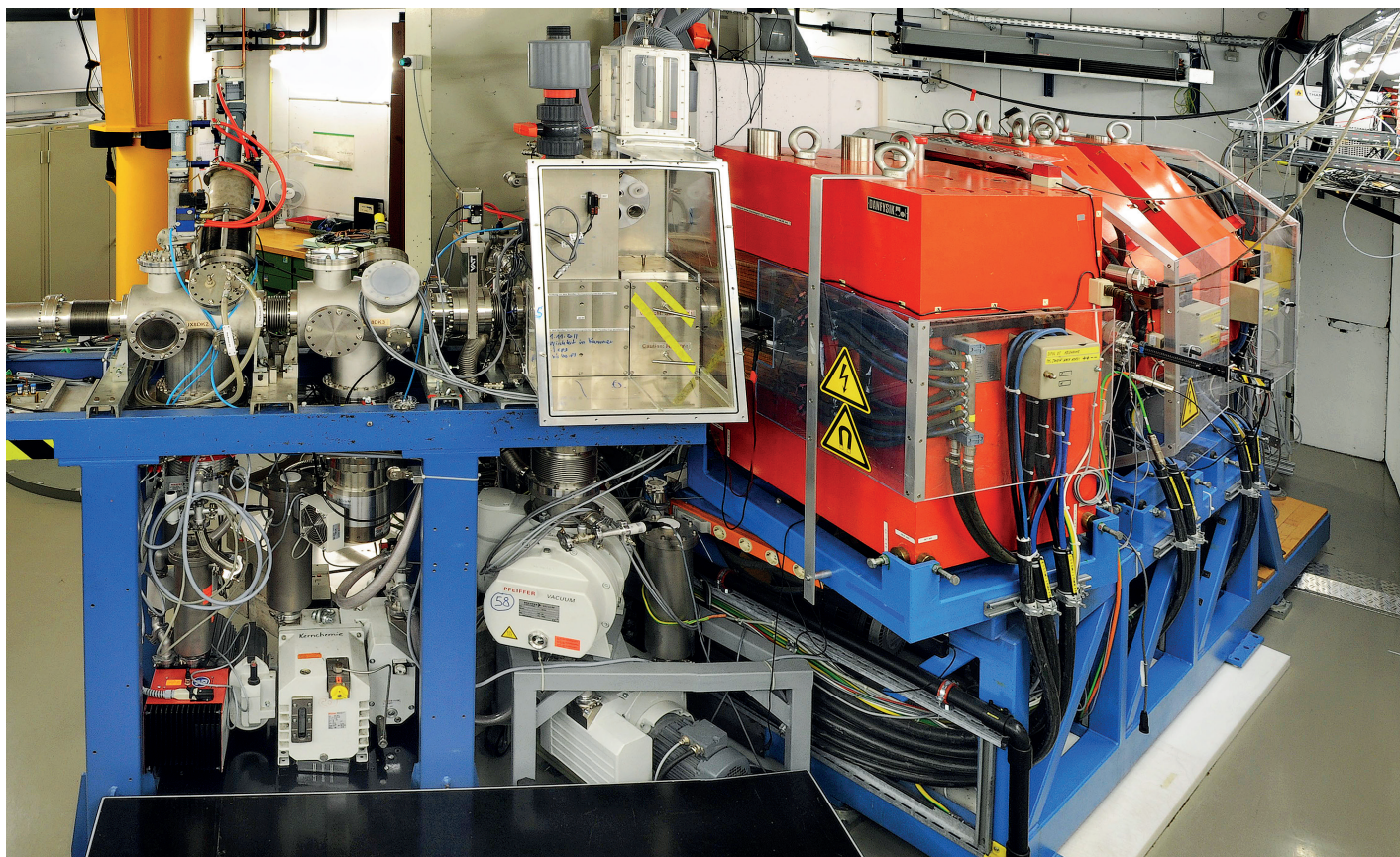
Iniziarono così al Gsi (a Darmstadt, in Germania) le campagne di misura condotte dai gruppi guidati da Gottfried Münzenberg e Sigurd Hoffman che, usando la “fusione fredda” (da non confondere con il presunto fenomeno di produzione di energia dall'idrogeno atomico!), portarono alla scoperta degli elementi con numero atomico tra 107 e 112. In queste reazioni, sfruttando l'elevata stabilità dei bersagli dei nuclei piombo-208 (^{208}Pb) e bismuto-209 (^{209}Bi), con uno o più “numeri magici”, e utilizzando fasci di ioni medio-pesanti di alta intensità, si producevano nuclei composti con una bassa energia di eccitazione (“freddi”), ovvero con un'elevata probabilità di sopravvivenza rispetto alla fissione. Tuttavia, i fasci e i proiettili stabili generano solo nuclei poveri in neutroni, quindi ben lontani dall'agognata isola di stabilità. Il successo comunque ottenuto da questi esperimenti fu reso possibile dallo sviluppo di bersagli resistenti all'energia rilasciata dai fasci molto ionizzanti e dei cosiddetti “separatori di nuclei in volo”, come il Separator for Heavy Ion reaction Products (Ship) tuttora in funzione al Gsi, che impiantavano i nuclei radioattivi, residui di evaporazione di nuclei eccitati, in rivelatori sensibili alla posizione. I nuovi elementi erano identificabili in base alle loro proprietà di decadimento radioattivo (emissione alfa e fissione). Queste tecniche continuano a essere ampiamente utilizzate per l'identificazione di nuclei radioattivi prodotti con bassa probabilità, per studi di chimica e di struttura nucleare. Al crescere del numero atomico si osserva una forte riduzione della sezione d'urto nella “fusione-fredda”: il caso limite è rappresentato dalla produzione del nihonio (Nh, $Z=113$), la cui scoperta ha

richiesto circa 5 anni di misure continue al Riken (a Wako-Shi, in Giappone).

Negli stessi anni, la strada alternativa della “fusione tiepida” fu intrapresa dal gruppo guidato da Yuri Oganesian al Flerov Laboratory of Nuclear Reactions (Flnr, a Dubna, in Russia), utilizzando il Dubna Gas-Filled Recoil Separator, un separatore in volo riempito con gas. Questo apparato sfrutta fasci di calcio-48 (^{48}Ca), un raro isotopo doppiamente magico, su bersagli con numero atomico maggiore o uguale a 92. La maggiore asimmetria di massa fra proiettile e bersaglio incrementa la sezione d'urto di fusione, mentre l'eccesso di massa del calcio-48 consente di produrre nuclei composti non molto eccitati (“tiepidi”). L'alta intensità dei fasci di calcio-48 e le grandi quantità di materiale per i bersagli transuranici forniti dai laboratori americani (rivali nella produzione di nuovi elementi nel periodo della guerra fredda) hanno consentito di estendere la tavola periodica fino a completare il settimo periodo con la produzione dell'oganesson, chiamato così in onore di Yuri Oganesian (a capo del gruppo che lo ha scoperto). Con i suoi 118 protoni e 176 neutroni, l'oganesson è l'elemento più pesante di tutti quelli finora conosciuti. In analogia con i nomi dei gas nobili, inquadrati nel diciottesimo gruppo della tavola periodica, quali argon, xenon ecc., il nome assegnato al nuovo elemento termina con la desinenza “on”. La corsa ai nuovi elementi ha visto per molti anni contrapporsi le regioni di influenza sovietica e americana, che usavano nomi diversi per i nuovi elementi di cui si contendevano la scoperta. L'International Union of Pure and Applied Chemistry (Iupac) e l'International Union of Pure and Applied Physics (Iupap) hanno



c. Francobollo celebrativo della scoperta dell'oganesson. La scoperta è stata fatta dal gruppo guidato da Yuri Oganesian (in foto). A destra è mostrata la catena di decadimento individuata nelle misure condotte a Dubna usando fasci di ^{48}Ca su bersagli di ^{249}Cf .



quindi istituito un comitato internazionale composto da cinque fisici e chimici (di cui uno è l'italiano Emanuele Vardaci) che ha il compito di confermare la scoperta dei nuovi elementi. Il comitato ha confermato nel 2016 la scoperta del nihonio, moscovio (Mc), tennesso (Ts) e oganesson (Og), gli ultimi tre scoperti grazie alla collaborazione tra la Russia e gli Stati Uniti.

Gli studi nella regione degli elementi superpesanti non si limitano solo alla produzione di nuovi elementi, ma cercano anche di definirne la struttura atomica e nucleare. Ad esempio, gli atomi di flerovio (Fl, $Z=114$) sono i più pesanti finora studiati con degli apparati chimici. Alcuni atomi di flerovio sono stati osservati, ma la limitata statistica ancora non consente di definire se gli effetti relativistici, che modificano le distribuzioni elettroniche, rendono questo elemento simile a un gas nobile. A queste e ad altre domande cercano di dare risposta gli esperimenti di chimica nucleare che usano il separatore magnetico Tasca, in corso al Gsi. L'utilizzo di nuove reazioni nucleari per la sintesi di elementi ancora più pesanti e/o meno poveri in neutroni, beneficiando

degli acceleratori con fasci decine di volte più intensi e di nuovi apparati di misura in costruzione in Russia, Germania e Giappone, certamente consentirà nelle prossime decadi di spingersi oltre. Ma a 50 anni dalla sua previsione teorica, l'isola di stabilità nella carta di Segrè risulta ancora largamente inesplorata e la scoperta dell'oganesson ha consentito solo di sfiorarne la costa. La caccia all'elemento più pesante continua.

d. Tasca è il separatore magnetico riempito con gas in funzione al Gsi di Darmstadt, le cui recenti campagne di misura hanno confermato la scoperta del tennesso (Ts) e del moscovio (Mc) e sono state condotte per la prima volta esperimenti con fasci di titanio-50 (^{50}Ti) per tentare di sintetizzare gli elementi con numero atomico $Z>118$.

Biografia

Antonio Di Nitto è ricercatore presso l'Università Federico II di Napoli ed è associato alla sezione Infn di Napoli. Ha lavorato nel gruppo degli elementi superpesanti al Gsi di Darmstadt (Germania). Si occupa principalmente dello studio dei meccanismi delle reazioni nucleari indotte da ioni pesanti a bassa energia (<10 MeV/nucleone) da un punto di vista sperimentale. Dal 2012 è uno dei responsabili della realizzazione del rivelatore Albega, che si trova al Gsi, per misure spettroscopiche di decadimento alfa-beta-gamma di nuclei superpesanti isolati con tecniche chimiche.

Link sul web

<http://www.periodicvideos.com>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2019.26.9