

Rapporto sui criteri di Lawson

I **criteri** per la ignizione di reazioni nucleari sono attualmente oggetto di grande attenzione, soprattutto a riguardo della discussione, che spesso assume il tono di polemica, circa la loro effettiva applicabilità nelle diverse condizioni.

Una applicazione brutta, miope rispetto alla considerazione delle peculiarità delle situazioni, non promette di essere utile.

Ricercatori da tempo impegnati a sostenere che nelle LENR possano coesistere condizioni che devono farci considerare i requisiti di ignizione **diversi**, nel caso della materia condensata, rispetto al caso del vuoto, un rappresentante per tutti il teorico **Y. Srivastava** (in accordo con **L. Holmlid, G. Miley, F. Cardone**), **NON** sostengono affatto che i criteri non valgano universalmente, **NON** sostengono affatto che si ricerchino le condizioni di **Fusione Fredda Locale**, **MA SOSTENGONO** che i criteri universali debbano essere sapientemente adattati alle condizioni specifiche, e credono che le cosiddette Fusioni Frede siano tali solo da un punto di vista macroscopico, mentre **localmente** i livelli energetici siano all' altezza dei compiti che devono assolvere (**B. Ahern**).

Così, appare logico, durante una sperimentazione, lasciarsi guidare **tanto** dalle sopravvenienze sperimentali, **quanto** da linee-guida, assunte **solo** come modelli di lavoro (suscettibili di venire adattati o cambiati), al duplice fine:

- modificare i criteri generali per **specializzarli** alla specifica situazione;
- **attuare** la scelta dei parametri operativi, e **forzare** le condizioni in cui avviene l'esperimento, **verso** il soddisfacimento dei detti criteri.

J. D. Lawson ha da tempo sviluppato tre criteri generali, tutto sommato facilmente condivisibili anche per solo buonsenso, ma verificati a livello delle grandi apparecchiature per la fusione come i Tokamak, a cui recentemente **L. Holmlid e G. Miley** hanno dato una importantissima e utilissima specializzazione nel caso della reazione in materia condensata.

I criteri generali si fondano sulle seguenti considerazioni, **come riportato più in dettaglio nello stralcio di testo inglese che poi segue**:

le tre quantità coinvolte, **al fine di ottenere più energia in uscita rispetto a quanta immessa nel sistema**, sono la densità ionica (n), (numero di atomi al cm^3 , non densità in massa), il tempo di confinamento (t), la Temperatura (T), tanto da dare il nome di **“criterio ntT ”**.

La probabilità di collisione, direttamente legata al numero di particelle in una regione (n), influenza l'effetto della reazione (primo criterio), così come l'energia disponibile (T) perchè le particelle abbiano la possibilità di superare la barriera elettrostatica (secondo criterio), e il tempo di confinamento (t), cioè la durata temporale di permanenza dell'energia localmente, a disposizione per la reazione (terzo criterio).

Va esplicitamente sottolineato, con un semplice esempio, quanto profondamente le tre condizioni siano mutuamente interagenti, si consideri ad esempio l'influenza che può avere la capacità di schermatura da parte degli elettroni, in atomi molto compattati, quindi ad elevata densità (n), sull'abbassare la repulsione tra nuclei, necessitando quindi di minore energia (T).

The three Lawson's criteria

J. D. Lawson, 1955

In 1955 a young engineer working on nuclear fusion decided to work out exactly how enormous the task of achieving fusion is. Although his colleagues were optimistic about their prospects, he wanted to prove it to himself. His name was John Lawson, and his findings – that the conditions for fusion power relied on three vital quantities – became the landmark Lawson Criteria.

The genesis of Lawson's Criteria is simple enough – he calculated the requirements for more energy to be created than is put in, and came up with a dependence on three quantities: temperature (T), density (n) and confinement time (τ). With only small evolution thanks to some subtle changes of definition, this is basically the same figure of merit used by today's fusion scientists – the triple product, $n\tau T$.

The amount of energy created relies on particles colliding and fusing – the number of collisions is related to the number of particles in a certain region – thus n, the number density (not mass density) is Lawson's first criterion. This would seem encouraging for the prospective experiment, as creating high pressure is relatively easy. However there is a catch. At higher densities a process known as bremsstrahlung rears its ugly head, in which collisions between nuclei and electrons generate radiation. Bremsstrahlung can become so dominant that all the power in the plasma is radiated away – the optimum density conditions are surprisingly low, around a million times less dense than air.

Nonetheless the fusion collisions – between the nuclei - have to be at high speed. This allows the nuclei to overcome their electrostatic repulsion, and get close enough for the strong force – that governs fusion – to take over and stick the particles together. The speed of a gas or plasma particle is equivalent to its temperature: the second of Lawson's criteria. Again there is a limit – if the two particles are moving really fast then the time they are in close enough proximity for fusion to occur decreases. The bremsstrahlung also increases at higher temperatures, due to faster moving electrons. The Goldilocks temperature turns out to be in the vicinity of 100 – 200 million degrees, a seemingly huge task in the fifties that has become a standard condition today.

With the first two criteria satisfied fusion reactions can occur, but to get a substantial amount of power generated you need time to allow the reactions to happen – on this basis Lawson's third criteria comes into play, the energy confinement time. This is the time that energy remains in the plasma before escaping, and it is here that the most remarkable gains have been made during the course of fusion research. From only microseconds in Lawson's time, the confinement time has improved by a factor of a million to reach about one second in JET and is planned to hit around 5 seconds in ITER.

It is a neat quirk of physics that conditions for achieving ignition in a tokamak depend linearly on these three quantities – just multiply them together to get an indication of your tokamak's performance. The magic figure for ignition is a triple product of greater than $5 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}\text{s keV}$. In its high power experiments of 1997 JET achieved around one fifth of that value.

Thanks to the years of study of fusion, our knowledge of how to achieve these criteria is very detailed. An appropriate value for density is easily achieved and tokamak heating systems have successfully created the necessary temperatures with radio-frequency heating and neutral beam injection. The remaining piece of the puzzle is the confinement time. Great improvements have been made in the plasma profiles and magnetic control that influence the confinement, but the largest improvement can be made simply by building a bigger tokamak, thereby increasing the plasma volume relative to its surface area.

John Lawson died in 2008, and so did not live to see ITER turn on. However, with its ten-fold increase over JET's volume, the huge fusion experiment will put the last piece into place and see Lawson's criteria finally satisfied.

Specializzazione dei criteri di Lawson al caso LENR

L. Holmlid, G Miley hanno molto lavorato, *sperimentalmente* e *teoricamente*, **all'adattamento** dei criteri di Lawson alla casistica LENR.

Parallelamente, i criteri di *F. Cardone* che traggono spunto dalla sua teoria dello **Spazio Tempo Deformato**, indipendentemente dalla accettazione o meno della teoria, hanno mostrato un notevole successo previsionale in importanti attività *sperimentali*, fino alla produzione e rilevazione di neutroni in condizioni altrimenti imprevedibili.

Occorrerà allora *accordare* anche la visione di Cardone ai criteri in esame, per avere un quadro, se non completo, almeno preliminare, a **noi utile**.

I seguenti link dettagliano i lavori di Holmlid e Miley, con ricca bibliografia al seguito, e da essi traiamo spunto per un rapporto sintetico.

L. Holmlid , EP2680271, "*Method and apparatus for generating energy through inertial confinement fusion*" , <https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20140101/patents/EP2680271NWA1/document.pdf>

G. Miley, Laser and Particle beams, 2009 - Cambridge University Press, entitled "Ultra-high-density deuterium of Rydberg matter clusters for inertial confinement fusion targets

https://newt.phys.unsw.edu.au/STAFF/VISITING_FELLOWS%26PROFESSORS/pdf/MileyClustL PB.pdf

Miley propone la sua generalizzazione **anche a fini diversi dall'impiego del laser**, es. fasci di protoni o elettroni sparati sul bersaglio (come sarebbe il caso delle sollecitazioni di Cardone o Adamenko).

Per quanto riguarda il primo parametro, la **densità ionica** (n), fondamentale perchè moltiplicativa a t per T , si sono raggiunte **sperimentalmente** densità di 10^{29} ioni/cm³ (Miley) che corrispondono a densità in massa maggiori di 50 Kg/cm³; con ioni a distanza di picometri (10^{-12} m); i cluster di materia ultra densa appaiono stabili anche a temperatura ambiente, e si annidano:

- in superficie,
- alle interfacce tra diversi materiali,
- nei difetti reticolari dell'intero cristallo, con valori di 10^{10} difetti / cm³ di superficie;

I valori di **ultra dense phase** sono stati ottenuti da *Holmlid* in catalizzatore Fe₂O₃ di deidrogenazione (commerciale), altamente poroso, dopato con K, Ca.

Miley propone che si usino cristalli alcalini (es. **Litio**) con difetti reticolari in cui annidare isotopi di H ultra denso, in modo da avere in **TUTTA** la massa del cristallo la zona ultradensa, **NON SOLO** alle interfacce tra strati di ossidi (es. di ferro).

La generazione di difetti reticolari puo' essere ottenuta con diverse tecniche, tra cui l'irradiazione dei cristalli con fasci elettronici sotto-soglia, arrivando a concentrazione di difetti pari a un millesimo della concentrazione degli atomi nel lattice, cioè, in scala lineare, **in un atomo su 10**. E il riempimento con idrogeno ultradenso rende il cristallo non più infragilito dai difetti.

L'uso del litio, noi pensiamo, può direttamente fornire localmente il fuel alternativo alla reazione deuterio-deuterio (alta attivazione) o deuterio-trizio (radioattiva), per la capacità del litio 7 e del litio 6 (nella distribuzione isotopica naturale) di reagire con protoni e neutroni (quindi è anche bene usare deuterio).

Infatti **Miley conferma**, riportando la preferenza per il lattice di **litio, meglio del palladio**, proprio perchè in un articolo descrive la reazione protone-litio, dopo aver fatto un ultra-caricamento del litio:

(e non trascuriamo la reazione protone-boro 11 (considerata nel nostro brevetto), comunque citata e presa in considerazione da Miley).

Si riporta l'abstract della pubblicazione:

MILEY, G.H. & YANG, X. (2008). Deuterium Cluster target for Ultra-High Density. In Proceedings from ANS-TOFE Conference. San Francisco, California

Abstract Submitted
for the DPP09 Meeting of
The American Physical Society

Nuclear energy without radioactivity: Laser driven block ignition of hydrogen-lithium⁷ HEINRICH HORA, Department of Theoretical Physics, GEORGE MILEY, Department of Nuclear Plasma and Radiological Engineering — Side-on block ignition of uncompressed solid fusion fuel by multi-petawatt-picosecond laser pulses following the Chu-Bobin scheme may be possible using a drastic anomaly of laser-plasma interaction. It is essential that the laser pulses are extremely clean (contrast ratio 10^8) to avoid relativistic self-focusing¹ as shown for DT with next available laser pulses after updating the Chu-Bobin scheme.² Using $p^{11}B$ (HB11) turned out to be only about ten times more difficult for laser fusion by this side-on ignition in contrast to impossible ignition by the usual spherical laser compression. Results for p-7Li fusion are similar to HB11. Controlled laser fusion energy may be produced with less radioactivity per energy than burning coal.

¹H. Hora, J. Badziak et al. Phys. Plasmas, **14**, 072701 (2007);

²H. Hora, B. Malekynia et al. Appl. Phys. Lett. **93**, 011101 (2008);

³H. Hora, G.H. Miley et al. Laser & Part. Beams **27**, (2009)
doi:10.1017/S026303460999022X.

E' evidente come, anche con basse potenze **medie**, l'uso di sollecitazioni impulsive di piccolissima durata, sia sufficiente per fornire elevatissime potenze **istantanee** (come riportato da Miley): con impulsi laser da 6J/impulso (tecnicamente raggiungibili), stretti 10ns, si arriva a 600 MW

istantanei.

La specializzazione dei criteri di Lawson **al caso di fasi ultradense in lattice metallico** viene riportata da Holmlid, e qui riassuntivamente commentata:

la relazione tra la massa critica per avere overunity (ovvero il raggio minimo della zona interessata), e la corrispondente densità, deve soddisfare la relazione derivata dai criteri di Lawson, accettata in letteratura da quanti stanno lavorando con diverse sollecitazioni, da basse ad alte densità di miscela Deuterio/Trizio:

$$d R > 0.1 - 1 \text{ g/cm}^2$$

ciò significa che, nel caso di combustibile solido, “ghiaccio di idrogeno”, con densità $d = 0.2 \text{ g/cm}^3$, il raggio minimo risulta dell'ordine del centimetro.

Per riscaldare il combustibile alla temperature richiesta di decine di Mega Kelvin, occorrono enormi potenze della sollecitazione, nel caso particolare, potenze del laser; infatti, dalla legge di Stefan-Boltzmann, per una temperatura di decine di Mega Kelvin occorrono flussi radianti dell'ordine di $10^{19} \text{ Watt/cm}^2$, e per raggi dell'ordine di poco più di un centimetro, potenze dell'ordine di 10^{20} Watt . Tale potenza non é praticabile.

Persino se si comprimesse l'idrogeno di un fattore 1.000, raggiungendo una densità di 0.2 Kg/cm^3 , che comporta per il criterio di Lawson un raggio della zona critica di soli 15 micron, ancora la potenza laser richiesta sarebbe enorme, dell'ordine di 10^{14} W .

Ma l'idrogeno ultra denso realizzato da Holmlid e Miley ha densità dell'ordine del centinaio di Kg/cm^3 , che richiede un raggio critico della zona interessata di soli 20 nanometri, una potenza istantanea dell'ordine di 10^8 W , che se fornita impulsivamente a larghezza di una decina di nanosecondi, (come ottenibile non difficilmente con i laser), comporta una potenza richiesta per il laser di **qualche Joule / impulso**, non certo proibitiva in condizioni (proiettate) industriali, ma affrontabile anche a livello di alcuni laser da tavolo.

Trasferendo i calcoli al caso della interazione Deuterio-Deuterio, che permette di evitare di maneggiare il pericoloso Trizio, radioattivo, oltre che sfuggente come tutti gli isotopi dell'idrogeno, la minore sezione d'urto (legata alla possibilità di incontrarsi efficacemente) dell'interazione D - D porta ad aumentare di **un ordine di grandezza** il prodotto necessario di densità per raggio, comportando un raggio dieci volte maggiore, un'area cento volte maggiore e, sempre in condizioni ultra dense, una potenza di sollecitazione (laser) cento volte maggiore, ottenibile comunque con impulsi di larghezza di decine di picosecondi, ancora mantenendo **la stessa energia** per impulso, arrivando a diminuire quest'ultima **di un fattore 10** se si realizzano impulsi stretti alcuni picosecondi (che tra l'altro riducono le perdite di calore).

Un altro approccio ai criteri di Lawson guarda al tempo di confinamento, che per la reazione D-D si riconosce essere legato alla densità ionica :

$$n t > 10^{22} \text{ s/m}^3$$

Poichè sperimentalmente Holmlid rileva la distanza tra gli atomi, in fase ultra densa, dell'ordine di 2 - 3 pico metri, la densità é $n = 10^{35} / \text{m}^3$, necessitando perciò di un tempo di confinamento minimo **$t = 10^{-13} \text{ sec}$** .

Questo tempo di confinamento é facilmente superabile nella maggior parte dei casi concreti, in quanto il valore precedentemente indicato corrisponderebbe ad un cammino termico di solo poche decine di picometri, decisamente piccolo.

Le considerazioni suesposte indicano l'ottenimento di compressioni in fase ultradensa come una strada molto interessante per raggiungere il soddisfacimento della condizioni di Lawson nella materia condensata; indicano anche quali caratteristiche necessitino alla matrice metallica per consentire la fase ultra densa.

Vale qui la pena di richiamare alla memoria come i catalizzatori di deidrogenazione non siano solo gli ossidi di ferro drogati con metalli alcalini, ma anche i composti Ni/Fe, in forma porosa o nano polverosa, e che il litio può fornire utili difetti sia al nichel che al ferro , o essere esso stesso il lattice in cui alloggiare l'idrogeno.

Modello di Cardone, dello Spazio Tempo Deformato

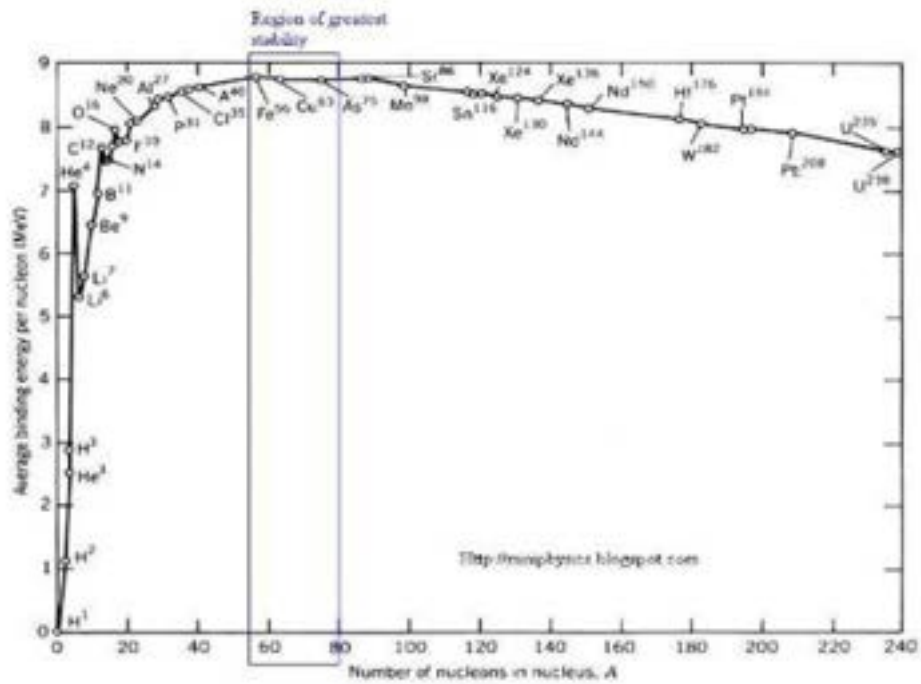
Occorre ora interpretare cosa richiede il modello di Cardone per localizzare, nello spazio e nel tempo, sufficiente energia per riuscire ad interagire a livello di **energie di legame nucleare**.

Il suo modello parla, in modo solo apparentemente diverso dai criteri di Lawson, degli stessi parametri trattati da questi, cioè *energie, tempi, concentrazioni*.

Il criterio di Cardone indica la necessità di fornire grandi *energie*, concentrate nel *tempo* e nello *spazio*, ad implosioni che possano condurre gli atomi da fondere, ad elevate densità di *concentrazione* locale.

Essendo evidente il parallelo tra i due criteri, veniamo alla analisi quantitativa, che può essere condotta con un esempio di appoggio: i calcoli che ci aiutò a condurre in occasione della presentazione, ad un convegno, dei nostri risultati in elettrolisi, sotto l'ipotesi che si sia realizzata una “*cavitazione elettro indotta*”.

Dal grafico "Binding Energy" si rileva l'ordine di grandezza delle energie di legame nucleare, e dalla tabella "Densità Critiche Nucleari" si vede come siano necessarie densità energetiche, riferite al volume, di circa 100 Mega pascal.



binding energy

DENSITA' CRITICHE NUCLEARI

NELLO SPAZIO

REAZIONI NUCLEARI :
 $7,0 \cdot 10^{11} \text{ GeV/cm}^3 = 1,12 \cdot 10^5 \text{ J/m}^3$ circa 112 MPa

RAGGI X :
 $1,5 \cdot 10^{11} \text{ GeV/cm}^3 = 2,5 \cdot 10^7 \text{ J/m}^3$ circa 25 MPa

NEL TEMPO = $4,8 \cdot 10^{20} \text{ EV/s} = 4,8 \cdot 10^{21} \text{ GeV/s} = 7,6 \cdot 10^{11} \text{ Joule/s}$
= 760 gigawatt

Da quanto riportato in "Calcolo Densità Critiche", nel reattore si raggiunge l'ordine di grandezza di 10 Giga Pascal, compatibili con le richieste densità energetiche.

CALCOLO DENSITA' CRITICHE

Pressione critica nucleare di legame (per nucleone) : 100 M Pa

Picco di Potenza : 10^4 Watt

Raggio micro polveri : 50×10^{-6} m

Velocità del suono in acqua : 1500 m/sec

Dimensione interessata dall'onda d'urto in 10 nsec : 10^{-3} m

Volume interessato : 10^{-15} m³

Energia nello spike : 10^{-4} J

Densità volumetrica di energia : 10^{-4} J / 10^{-15} m³ = 10^{11} Pa = 10 G Pa

Volume micro polvere : 10^{-15} m³

Volume nano polvere : 10^{-21} m³