

Il Frascati Neutron Generator e i test di resistenza a radiazione

Sempre più attività e servizi anche in ambito di R&S fanno uso di osservazioni da satelliti. Garantire l'affidabilità di questi sistemi progettandoli con test di resistenza è quindi di grande importanza, in particolare per quelli elettronici che possono subire gravi malfunzionamenti per effetto della radiazione cosmica. Presso il Centro ricerche di Frascati, ENEA dispone del Frascati Neutron Generator, una facility unica nel panorama internazionale in grado di svolgere questi test.

DOI 10.12910/EAI2021-091

di Salvatore Fiore - *Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare*

Un numero crescente di attività e servizi fanno oggi un uso imprescindibile di satelliti in orbite terrestri. Ricerca e sviluppo in ambiti scientifici, tecnologici, medici, si basano spesso su esperimenti e missioni esplorative svolti nello spazio e osservazioni da satellite. Garantire l'affidabilità di questi sistemi, sempre più numerosi e complessi dal punto di vista tecnologico, nello spazio presenta una difficoltà in più, in particolare per i sistemi elettronici. Questa difficoltà deriva da un fenomeno emerso in tempi recenti, difficile da immaginare prima che se ne vedessero i primi effetti.

Nel 2008, un Airbus 330 della compagnia Qantas entrò improvvisamente in picchiata senza motivo apparente. Fortunatamente non ci furono vittime. La causa fu rintracciata in un errore dell'unità di gestione dei dati inerziali, nella quale il dato sull'altitudine era stato scambiato improvvisamente con quello dell'angolo di attacco dell'aereo. Nel 2003, durante uno spoglio elettorale in Belgio con un sistema di voto elettronico, si ve-

rificò un'insolita incongruenza: una candidata aveva avuto più preferenze personali rispetto a quelle del suo partito, impossibile secondo le regole elettorali in vigore. La differenza era 4096 voti in più: ovvero 2 elevato alla 12. Chi ha familiarità con l'elettronica digitale avrà già immaginato che un errore simile potrebbe essere stato dovuto ad un "bit flip" in un chip di memoria digitale, ovvero un valore che nella memoria è passato da 0 a 1 apparentemente senza motivo.

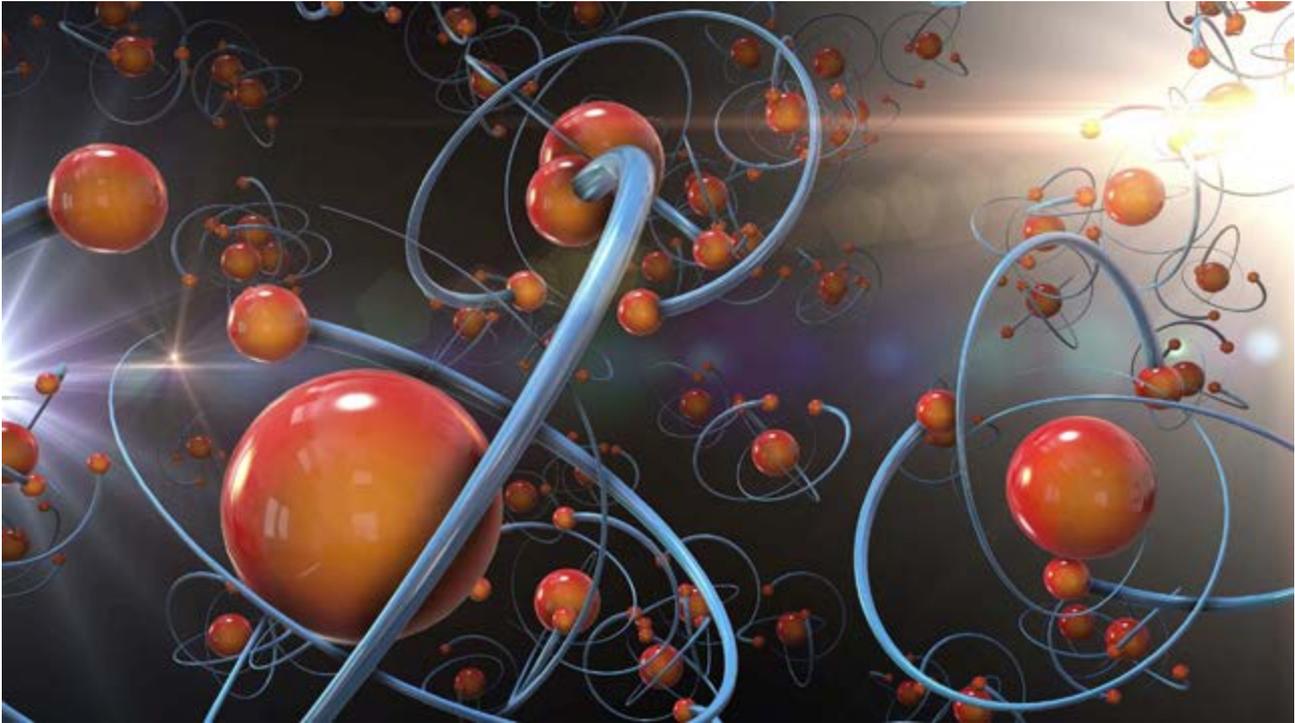
In entrambi questi incidenti, la causa del fenomeno è stata individuata in un effetto, ormai ben noto, della radiazione cosmica sui sistemi elettronici dell'aeroplano e del sistema di voto.

La radiazione che proviene dallo spazio, composta per lo più da particelle come protoni e ioni, interagisce continuamente con l'atmosfera generando cascate di altre particelle diverse. Queste "particelle secondarie", elettroni, muoni e neutroni proseguono il loro cammino verso il suolo attraversando la materia che incontrano. A volte questo incontro è innocuo, ma in una frazione dei casi, quando

il materiale attraversato è un componente elettronico, si possono verificare effetti di vario genere. Sono i cosiddetti "Single Event Effects", eventi singoli che vanno dalla piccola perturbazione del funzionamento



Test su memorie digitali ad FNG in collaborazione con il CERN



del componente, subito ripristinato, al salto di un valore numerico in una memoria digitale, al danneggiamento permanente del componente.

I test di resistenza a radiazione

I due episodi citati sono certamente eclatanti, ma i sistemi spaziali come satelliti per telecomunicazioni o telerilevamento, la Stazione Spaziale Internazionale e i veicoli che la riforniscono, le sonde delle missioni di esplorazione del sistema solare, sono costantemente soggetti a eventi di questo tipo. Le prime evidenze di questi effetti risalgono agli anni settanta, quando ci si trovò davanti ai primi episodi di perdita di contatto con satelliti in orbita. Da allora, i componenti elettronici utilizzati su sistemi spaziali sono diventati sempre più complessi e numerosi, rendendo necessaria una mitigazione dei Single Event Effects.

Questo tipo di disturbi o danneggiamenti, nei componenti elettronici,

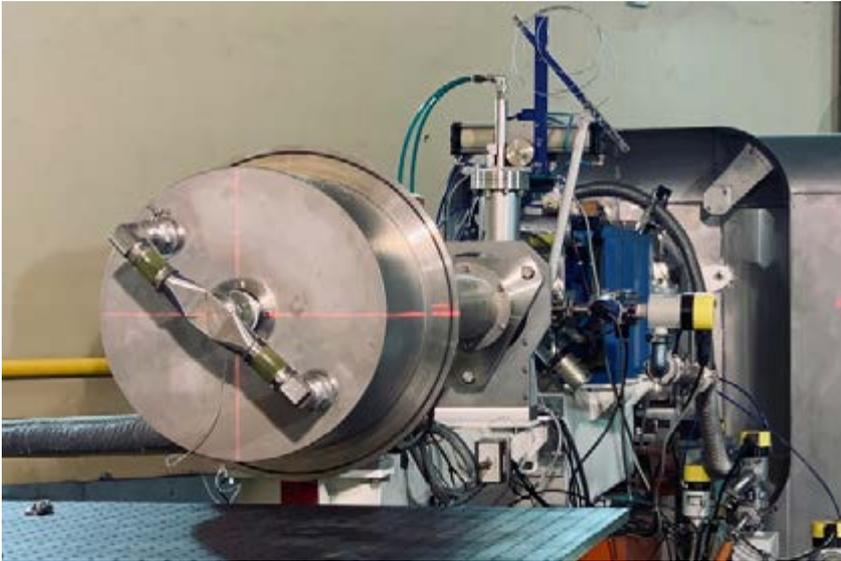
possono indurre effetti anche gravi sul sistema in cui sono inseriti. Per questo motivo i componenti elettronici più critici vengono oggi progettati includendo dei test di resistenza a radiazione, o Radiation Hardness. Questi test vengono effettuati su campioni dei componenti da utilizzare in missioni spaziali, satelliti, aerei e, sempre più spesso, anche su sistemi critici che funzionano a terra come auto a guida autonoma o droni.

Ma come si testa un transistor, o un microprocessore, per gli effetti della radiazione cosmica primaria o secondaria in atmosfera? La maniera più efficace è esporre il componente allo stesso tipo e quantità di radiazione che incontrerà nella sua vita su un satellite, o su un jet di linea. Questi effetti sono (fortunatamente) rari: per raccogliere una casistica di eventi, che consenta di fare delle stime sulla probabilità che questi accadono, dobbiamo in qualche maniera “accelerare” i test. Un po’ come accade per una maniglia di automobile, che viene

aperta e chiusa continuamente e velocemente, testandola in poche ore per il numero di volte che verrà utilizzata in anni di vita.

Per accelerare un test di resistenza a radiazione quindi abbiamo due modi. Il primo è testare un gran numero di componenti, pochi dei quali subiranno un danneggiamento; come per la lotteria, però, per vincere con certezza bisognerebbe spendere milioni in giocate e per un test di massa su milioni di componenti il costo diventerebbe proibitivo.

L'altra maniera è **esporre i componenti allo stesso tipo di radiazioni che incontreranno nella loro vita spaziale, ma con una intensità milioni di volte maggiore.** In questo modo, aumenteranno le probabilità di registrare un evento dannoso, e si potrà misurare la probabilità che questo avvenga per stimarne la robustezza. Ciò che serve è, quindi, una sorgente di particelle simili a quelle presenti nello spazio e in atmosfera, con un'intensità tale da emettere in poche



il bersaglio del Frascati Neutron Generator, da cui vengono emessi i neutroni utilizzati nei test sperimentali alt: il bersaglio del Frascati Neutron Generator

ore ciò che colpirebbe i componenti in anni di funzionamento. **Realizzare sorgenti simili è una difficile sfida scientifica e tecnologica, che nel Centro Ricerche ENEA di Frascati è stata vinta con FNG, il Frascati Neutron Generator.**

Il Frascati Neutron Generator, una facility unica nel panorama internazionale

FNG è una facility in cui si conducono test con neutroni di energia pari a 14 Mega elettronvolt (MeV), ovvero quelli che si producono nelle reazioni di fusione nucleare tra nuclei di deuterio e di trizio. Questi sono entrambi isotopi dell'idrogeno, che hanno uno (Deuterio) o due (Trizio) neutroni in

più del loro "cugino". Analogamente a quanto avviene nelle macchine Tokamak, con le quali si studia la fusione nucleare per la produzione di energia, ad FNG le reazioni di fusione necessitano di una quantità di energia iniziale tale da innescare la reazione. A questo scopo, un acceleratore di ioni deuterio porta questi a scontrarsi con un bersaglio contenente trizio, provocando la fusione dei due nuclei con la successiva emissione di neutroni e nuclei di elio. **Il flusso di neutroni raggiunto da FNG è uno dei più intensi al mondo:**

100 miliardi di neutroni possono essere emessi ogni secondo dal bersaglio, rendendo FNG una facility unica nel suo genere nel panorama internazionale.

Per la sua unicità, FNG viene utilizzata per numerose attività di ricerca e sviluppo. Nata per test sui materiali utilizzati nei reattori per l'energia da fusione, la facility viene oggi sfruttata da centri di ricerca ed aziende internazionali anche per test di radiation hardness su componenti e sistemi per lo spazio, aeronautica, per gli acceleratori di particelle di alta intensità e per gli stessi tokamak di futura generazione come ITER.

FNG è parte di consorzi di ricerca e progetti europei, che consentono l'accesso ai gruppi di ricerca di istituzioni ed aziende attraverso finanziamenti europei. In particolare, FNG fa parte del network ASIF che tramite l'Agenzia Spaziale Italiana promuove l'utilizzo di facility di irraggiamento a livello nazionale tra le aziende dell'aerospazio. FNG partecipa inoltre al progetto H2020 RADNEXT, che ha come obiettivo la creazione di un network europeo di facilities per test di radiation hardness e la semplificazione dell'accesso per gli utenti, in particolare delle imprese dell'aerospazio, finanziando le attività sperimentali presso le infrastrutture del network.

Tramite RADNEXT, nei primi mesi di attività decine di proposte di test su elettronica sono state selezionate per l'accesso alle facilities del network, tra cui anche FNG che sarà anche utilizzata come banco di prova per nuovi sistemi di gestione che semplificheranno e renderanno più efficiente lo svolgimento dei test sperimentali.

Per info: salvatore.fiore@enea.it