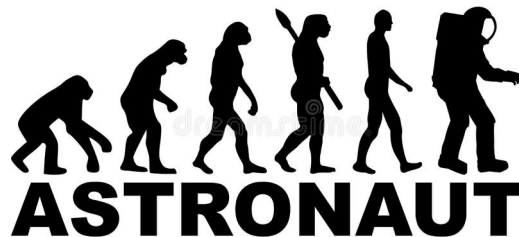




**LICEO CLASSICO STATALE "G. GARIBALDI" - PALERMO**

**ENDOREATTORE E PROPELENTE GREEN  
DA UOMO DELLE CAVERNE A ESPLORATORE DELLO  
SPAZIO**



**Alunna: Alessia PIVETTI**

**Classe: IV i**

**Materia: Fisica**

**Docente: Prof.ssa Alessandra PROVENZANO**

## **INDICE**

<b>ABSTRACT</b>	<b>pag. 3</b>
<b>1. LE ORIGINI</b>	<b>pag. 4</b>
<b>2. COME FUNZIONA UN RAZZO</b>	<b>pag. 6</b>
<b>3. CLASSIFICAZIONE DEI MOTORI A RAZZO</b>	<b>pag. 7</b>
<b>4. PARAMETRI DI PRESTAZIONE</b>	<b>pag. 9</b>
<b>5. ENDOREATTORE E AMBIENTE, UTILIZZO DI UN PROPELLENTE GREEN</b>	<b>pag. 10</b>
<b>6. INQUINAMENTO NELLO SPAZIO</b>	<b>pag. 12</b>
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>pag. 14</b>
<b>SITOGRAFIA</b>	<b>pag. 14</b>

## ABSTRACT

Circa 2 milioni di anni fa, nel continente africano, l'uomo fece la sua prima comparsa sulla Terra. Ben presto la curiosità e la necessità lo portarono a divenire pioniere di nuovi continenti. La Terra divenne ben presto troppo piccola per l'essere umano che si addentrò alla scoperta di nuove realtà e nuovi pianeti. Giacomo Leopardi parlando alla luna le chiese: "che fai tu, luna, in ciel? Dimmi che fai silenziosa luna?". Che sia stata questa curiosità che ha spinto l'uomo in pochi anni a raggiungerla e a svelare il mistero che da sempre affascina l'uomo notturno?

Ma cosa sta dietro questa magia dell'eroe astronauta che parte per lo spazio? Quali sono i vantaggi e gli svantaggi di tali esplorazioni? Dopo la seconda guerra mondiale l'uomo per la prima volta accarezza l'idea di poter arrivare nello spazio, dando così inizio all'era spaziale di cui conosceremo a fondo il protagonista: l'endoreattore, ossia il motore che ha permesso tutto ciò.

L'endoreattore insieme all'esoreattore, il motore tipicamente usato negli aerei, fa parte di una categoria di motori detti a getto; tali motori, di origini molto antiche, saranno infatti il punto da cui si getteranno le basi per l'invenzione del motore a razzo.

Ritenendo di non poter essere esaustivi e completi, tuttavia il presente lavoro offre una panoramica sul funzionamento dell'endoreattore che sfruttando la terza legge della dinamica produce una spinta opposta a quella della fuoriuscita del gas e la classificazione che può essere fatta partendo dai tipi di energia utilizzati per arrivare ai tipi di propellenti (combustibile e comburente) utilizzati.

Scopriremo insieme che l'affascinante mondo dello spazio ha anche dei risvolti negativi come l'inquinamento ambientale a cui si è cercato di porre rimedio attraverso l'utilizzo di propellenti Green e l'attenzione ai detriti rilasciati nello spazio.

## 1. LE ORIGINI

L'endoreattore è un propulsore a getto, ovvero un apparato meccanico che sfrutta la terza legge della dinamica, il principio di azione e reazione, per produrre una spinta.

Il primo esempio di propulsore a getto si ha nell'Antica Grecia con la macchina chiamata *eolipila*. Questa macchina sfruttava i getti di vapore per provocare il moto di una sfera. L'uomo in realtà non si rese conto delle potenzialità della propulsione a getto fino al XIII secolo, quando in Cina questo principio fu sfruttato nei razzi, inizialmente utilizzati come mezzo d'intrattenimento nei fuochi d'artificio, furono presto impiegati per scopi bellici.

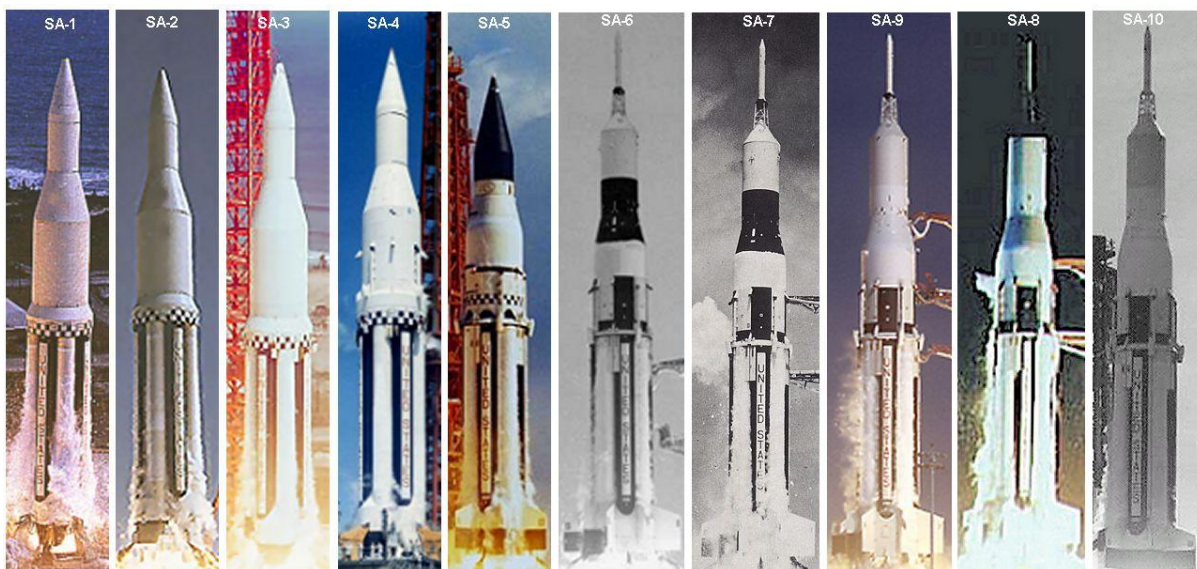
Nel 1910 l'ingegnere Henri Coandă progettò, costruì e pilotò il primo aereo con propulsore a "termogetto". Il motore era a pistoni, con quattro cilindri, che alimentava un compressore. Un'evoluzione nello sviluppo di motori a getto si ebbe in progetti ibridi, nei quali una fonte di potenza esterna comprimeva l'aria. Questa era mescolata con il carburante e bruciata per produrre il getto di spinta. La svolta vera e propria si ebbe nel 1903 con il perfezionamento del motore a turbina a gas anche chiamato esoreattore che di fatto era presente già da molti anni prima e che andò a sostituire il tradizionale motore a pistoni. Il primo brevetto per l'impiego di una turbina a gas nell'aeronautica venne concesso nel 1921.

Il primo aereo a getto del mondo arrivò qualche anno dopo, questo fu l'He 178, decollato nel 1939, progettato da Hans von Ohain. Lo sviluppo che, principalmente in Germania, ne seguì portò evidenti vantaggi nella seconda guerra mondiale, al termine della quale i velivoli a getto tedeschi e i loro propulsori vennero studiati approfonditamente dagli alleati e contribuirono ai primi modelli di velivoli a getto statunitensi e sovietici. In questo periodo si colloca l'origine dell'era spaziale, alla quale viene convenzionalmente attribuita la data di inizio del 4 ottobre 1957, che vede come suo protagonista l'endoreattore, o motore a razzo, che si distingue dall'esoreattore per la caratteristica di immagazzinare il comburente in appositi serbatoi o già miscelato con il combustibile. Proprio per questa sua caratteristica l'endoreattore è un motore adatto a percorrere viaggi ad altissima quota o fuori dall'orbita terrestre. Il primo satellite mandato nello spazio fu lo Sputnik 1 da parte dell'URSS, questo suscitò un'intensa competizione con gli Stati Uniti nel campo dell'aeronautica.

Lo Sputnik 2 fu la prima sonda con a bordo un essere vivente mandato nello spazio, la cagnolina Laika. La risposta degli USA fu immediata, tanto da dare vita al progetto Mercury. Il 12 aprile 1961 I sovietici lanciarono in orbita il primo essere umano, Yuri Gagarin. Il 25 maggio 1961 il presidente Kennedy lanciò una sfida ai sovietici promettendo che entro la fine del decennio gli Stati Uniti avrebbero fatto atterrare il primo uomo sulla luna, cogliendo di sorpresa anche la NASA.

In seguito a tale dichiarazione fu messo in atto il programma Apollo, che vide la sua realizzazione il 20 Luglio 1969 quando durante la missione dell'Apollo 11 i due astronauti Neil Armstrong e Buzz Aldrin sbarcarono sulla luna. La prima passeggiata lunare fu trasmessa in diretta televisiva per un pubblico mondiale. Nel mettere il primo piede sulla superficie della Luna Armstrong commentò l'evento con la celebre frase "un piccolo passo per l'uomo, un grande balzo per l'umanità".

Il programma Apollo si svolse tra il 1961 e il 1975 e vide un totale di ben 12 uomini camminare sulla luna. La storia dell'Italia nello spazio si sviluppa in Europa, contemporaneamente alle iniziative nazionali dell'ingegnere Luigi Broglio, da molti considerato il padre dell'aeronautica italiana. Ma solo molti anni dopo l'Italia vede come protagonista la prima donna italiana nello spazio, Samantha Cristoforetti, il cui lancio con la navicella Soyuz è avvenuto il 23 novembre 2014.



## 2. COME FUNZIONA UN RAZZO

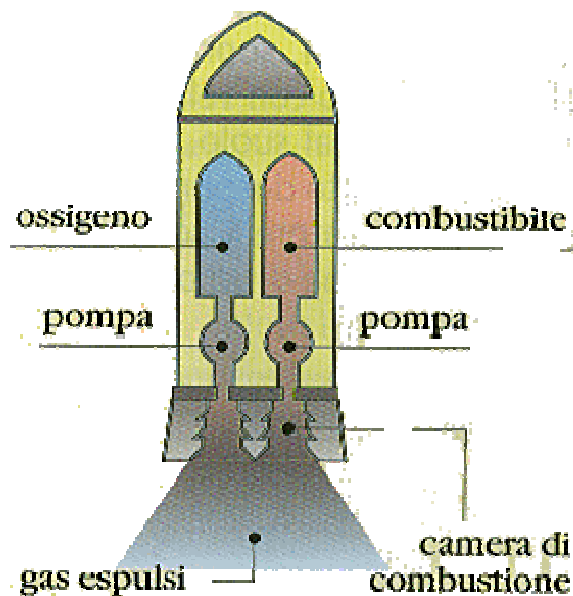
La maggior parte dei velivoli spaziali oggi è propulsa attraverso la combustione di propellenti e la loro espulsione attraverso un ugello gasdinamico: per il principio di azione e reazione ne consegue una spinta nel verso opposto a quello della fuoriuscita del gas.

L'endoreattore meglio noto come motore a razzo è un motore che si distingue dall'esoreattore per la sua funzione di immagazzinare sia il combustibile che il comburente direttamente a bordo, in serbatoi separati o già miscelati tra loro, in forma solida, gassosa o liquida. La differenza tra propulsione aeronautica e propulsione spaziale quindi risiede nel fatto che la prima utilizza come carburante l'aria presente nell'atmosfera terrestre, il secondo, proprio per caratteristiche precedentemente descritte è in grado di fornire la spinta anche in condizioni dove non è possibile ottenere ossigeno per le reazioni di combustione, ad esempio fuori dall'atmosfera terrestre. Ciò richiede un maggiore spazio affinché si possano immagazzinare già all'interno entrambe le soluzioni necessarie per la combustione e di conseguenza riduce l'autonomia, causando anche un maggiore peso finale.

Il motore di accesso allo spazio, comunemente chiamato veicolo di lancio è un motore a reazione chimica che ha la caratteristica di emettere nell'orbita un carico utile. Alcuni satelliti artificiali utilizzano semplici motori a reazione chimica per mantenere il corretto assetto orbitale e direzionale, altri invece sfruttano dei motori elettrici. Il lanciatore si distingue dal motore di navigazione nello spazio o veicolo interplanetario che invece permette il trasferimento del satellite in un'orbita più alta o in una traiettoria interplanetaria e, in una fase successiva, anche manovre, correzioni di assetto e una maggiore elasticità.

Malgrado i progressi sappiamo che non tutti i propulsori nei veicoli di lancio possono essere recuperati. La maggior parte dei lanciatori moderni infatti non sono riutilizzabili, questi si chiamano propulsori *expendable*, perché il motore non può essere recuperato per missioni successive. Alcuni sistemi di lancio invece mirano al recupero totale o parziale delle parti del sistema per essere riutilizzati in un lancio successivo ed essi prendono il nome di propulsori *reusable*. Ad oggi non è stato mostrato nessun sistema di lancio completamente riutilizzabile.

I veicoli suborbitali riutilizzabili si ponevano l'obiettivo di essere meno costosi anche se, come ci rivela lo space shuttle, il primo veicolo riutilizzabile ad aver raggiunto l'orbita, si dimostrarono presto ben più costosi.



### 3. CLASSIFICAZIONE DEI MOTORI A RAZZO

Come abbiamo visto il fenomeno di propulsione è diviso sostanzialmente in tre fasi. Ciascuna di queste fasi è caratterizzata da scambi di energia e scambi termici.

Una prima classificazione degli endoreattori può essere fatta in base al tipo di energia primaria utilizzata.

L'energia primaria solitamente usata e che ha ricavato maggior successo è certamente quella di tipo chimico che viene trasformata in termica nelle camere di combustione. Oltre a quello di tipo chimico, possiamo trovare quella di tipo nucleare, elettrico o radiante ( la sorgente di energia è la radiazione solare).

A sua volta l'energia trasformata o secondaria proveniente dall'energia primaria può essere elettrica o termica (tutti i motori a energia primaria chimica generano energia termica). Quindi l'energia cinetica generata è ottenuta mediante un

ugello gasdinamico se per via termica e mediante un campo elettromagnetico se per via elettrica.

Nel razzo chimico i propulsori possono essere a propellente liquido, solito, ibrido o gassoso.

Nel caso del motore a razzo a combustibile liquido i due componenti usati, combustibile e comburente, che insieme costituiscono il propellente, sono contenuti in due serbatoi distinti e inviati attraverso pompe nella camera di combustione dove vengono in contatto. Nella camera di combustione avvengono le reazioni di ossidoriduzione che comportano il passaggio nello stato di gas e permettono un aumento dell'energia termica.

Uno dei vantaggi dei razzi a propellente liquido è l'impiego di serbatoi leggeri, in quanto un tipico propellente liquido ha una densità simile all'acqua e richiede una bassa pressione.

Un altro vantaggio è costituito dalla possibilità di modulare la spinta in tempi reale e un buon controllo del tasso di mescolamento. L'impiego di propellenti liquidi ha però anche una serie di inconvenienti poiché non solo il propellente costituisce una buona parte della massa del veicolo ed è possibile che sciabordi all'interno dei serbatoi, ma fuoriuscendo potrebbe anche creare miscele esplosive e in generale aumentano le possibilità di malfunzionamento del razzo.

Nel caso in cui il combustibile e il comburente siano l'idrogeno e l'ossigeno come nei veicoli di lancio, l'ossigeno utilizzato, a differenza del motore a turbogetto, si trova allo stato puro, raggiungendo così temperature più elevate e di conseguenza anche una velocità maggiore.

Il motore a razzo a combustibile solido è invece costituito da una massa di propellente che contiene sia il combustibile che il comburente, così da permettere una perfetta combustione autoalimentata. I propulsori a combustibile solido possono fornire una spinta elevata a costi relativamente bassi, ma questa non può essere regolata. Maggiore è la superficie esposta e la velocità di combustione (strettamente legata al tipo di propellente utilizzato e alla pressione), maggiore sarà la spinta. La ricerca nei razzi a combustibile solido è incentrata su vari ambiti tra cui quello di ricerca di un combustibile maggiormente ecologico.

I razzi a propellente ibrido o razzi a litergolo sono invece caratterizzati da un motore che usufruisce di un propellente misto solido/liquido, in cui il comburente è liquido e il combustibile solido o viceversa il combustibile è liquido e il comburente è



solido. In questi motori, a differenza di quelli a propellente solido, la combustione una volta innescata può essere interrotta, mentre rispetto all'utilizzo di propellente liquido, riduce i rischi di esplosione. Tuttavia vi è un basso tasso di regressione dei combustibili, ovvero la velocità con cui diminuisce la parte solida. Proprio per tale problematica si sta cercando di porre rimedio con degli studi iniziati negli anni '90.

A causa delle elevate temperature raggiunte nella camera di combustione, sono necessari sistemi di controllo termico che possono essere di tipo:

- a raffreddamento rigenerativo, composto da un sistema di condotti in un cui scorre un refrigerante a cui al passaggio viene ceduta energia termica;
- a raffreddamento a film liquido o a traspirazione, in cui il refrigerante costituito dallo stesso combustibile non combusto scorre nella parte convergente e divergente all'ugello, proteggendo la parete;
- a raffreddamento ablativo, in cui il materiale ablativo subisce una forte reazione endotermica degradando se stesso e producendo un residuo carbonioso;
- a raffreddamento a pozzo termico, in cui un materiale ad alta conduttività termica trasporta il calore assorbito in altre zone;
- a raffreddamento radiative in cui l'elevata emissività termica di alcuni materiali, ovvero la capacità di un materiale di irradiare energia termica, permette l'irradiazione in altre zone e quindi il conseguente raffreddamento.

#### **4. PARAMETRI DI PRESTAZIONE**

La prestazione di un endoreattore dipende da vari parametri tra cui la spinta, il rapporto peso-spinta e altri parametri come la velocità caratteristica e l'impulso specifico ponderale.

Come abbiamo già visto il principio fisico alla base del motore a razzo è il terzo principio della dinamica che conduce alla legge di conservazione della quantità di moto. La legge di conservazione della quantità di moto stabilisce che la quantità di moto totale di un sistema isolato è costante nel tempo.

Nell' endoreattore possiamo osservare il sistema composto dal razzo e dal flusso espulso passare da uno stato con massa  $M$  e velocità  $V$  al tempo  $T$ , ad un sistema composto da due sottosistemi al tempo  $T_2$ , uno con massa  $M-\Delta m$  ( $\Delta m$  è la

massa espulsa che varia in funzione di  $\Delta t$ ) e velocità  $V+\Delta v$  e l'altro composto dal gas di massa  $\Delta m$  che si muove alla velocità  $V-u_e$ , dove  $u_e$  rappresenta la velocità del getto relativa al razzo (costante).

Grazie alla legge di conservazione della quantità di moto sappiamo che la quantità di moto del nostro sistema (razzo + gas espulso) deve risultare uguale alle forze agenti sul sistema stesso. Esplicitando le forze esterne in funzione delle pressioni, è possibile ricavare la spinta determinata da un ugello gasdinamico. La spinta ( $S$ ) essendo una forza si misura in Newton.

Un altro parametro importante è il rapporto spinta peso ( $S/W$ ) che varia in funzione al tipo di propulsore. I motori di lancio per elevarsi da terra presentano necessariamente  $S/W > 1$ , mentre i motori da navigazione spaziale presentano  $S/W \ll 1$  (di molto minore). La spinta  $S$  nei due motori (di lancio e di navigazione nello spazio) varia in funzione dell'enorme quantità di massa  $\Delta m$  ceduta nel tempo  $\Delta t$ .

L'impulso specifico ponderale è invece un parametro fondamentale per individuare le prestazioni di un propulsore ed è definito come il rapporto tra l'impulso totale e la forza peso della massa di propellente consumato.

Infine la velocità caratteristica serve a valutare l'efficienza della camera di combustione. Valori elevati testimoniano una buon processo conversione dell'energia termochimica.

## **5. ENDOREATTORE E AMBIENTE, UTILIZZO DI UN PROPELLENTE GREEN**



Una sonda spaziale, un satellite o qualsiasi altro veicolo aerospaziale per svolgere la sua missione deve essere portato nello spazio da un lanciatore. Attualmente l'accesso allo spazio può avvenire solo attraverso motori che sfruttano il processo di combustione. In diverse categorie di lanciatori si fa uso di propellente solido. Talvolta questo rappresenta un'enorme svantaggio in particolare perché il propellente solido prevede l'utilizzo di alluminio in polvere, poliuretano come plastica legante, ma soprattutto a catturare la nostra attenzione è il perclorato di ammonio che, oltre a essere il responsabile del forte impatto ambientale, è il principale responsabile dei fenomeni notoriamente chiamati del buco dell'ozono e delle piogge acide.

Per dare un'idea in un solo lancio di Ariane V si generano infatti 270 di tonnellate di acido cloridrico che viene rilasciato nell'ambiente. Esistono altri ossidanti potenzialmente sostenibili, l'ammonio dinitrammide e il nitrato di ammonio, ma non sono in grado di sostituire il perclorato di ammonio. Infatti il perclorato non solo brucia ad una velocità adeguata al contrario dell'ammonio dinitrammide, che brucia troppo rapidamente pur offrendo delle prestazioni molto elevate e al contrario del nitrato di ammonio, che invece brucia troppo lentamente e non garantisce prestazioni adeguate, ma inoltre è caratterizzato da un'adeguata densità ed è sicuro da maneggiare.

Per molto tempo si è cercata una soluzione utile nella miscela di nitrato di ammonio e di ammonio dinitrammide, come ci dimostra il progetto Grail finanziato dall'UE, ma di fatto si è riscontrato che le proprietà di combustione fossero troppo limitate e che l'ammonio dinitrammide presenti un'ipersensibilità alle materie esplosive.

Così si è pensato di creare una combinazione di perclorato di ammonio e ammonio dinitrammide che, pur non essendo una soluzione totalmente ecologica, si caratterizza per prestazioni più elevate e dà una sostenibilità maggiore del 25%.

A tal riguardo possiamo concludere che probabilmente i propellenti liquidi rappresentano l'unica strada per una soluzione più green come ci dimostra anche uno studio condotto dalla NASA che si è recentemente interessato alla tematica ambientale.

Come prima cosa bisogna comprendere che quando parliamo dell'utilizzo di propellenti Green non facciamo riferimento a carburanti che non inquinano, ma piuttosto a sostanze più facili da gestire e conservare nel tempo.

A partire dagli anni '60 e '70 infatti la NASA si è interessata a ricercare quale fosse il carburante liquido ideale per applicazioni militari. Dopo vari studi ottenerlo il combustibile utilizzato oggi per il controllo orbitale e di assetto: l'idrazina. L'idrazina è un composto dell'azoto che ha il "solo" difetto di essere terribilmente tossico e corrosivo. Non solo la tossicità costituirebbe un' enorme problema nel caso in cui un veicolo spaziale si dovesse schiantare sulla Terra, ma la gestione dell'idrazina richiede anche severe misure di sicurezza. La NASA ha realizzato un nuovo composto formato da una miscela di nitrato di idrossilammonio che, oltre a promettere di essere meno tossico, sembra offrire prestazioni più efficienti del 50%.

La missione chiamata GPIM (Green Propellant Infusion Mission) è stata lanciata a bordo di un razzo il 25 Giugno 2019.

## 6. INQUINAMENTO NELLO SPAZIO



Un ulteriore problema che negli ultimi anni ha suscitato l'interesse dei ricercatori e degli scienziati di tutto il mondo è costituito da quelli che sono i detriti aerospaziali.

Con l'espressione detriti aerospaziali si indica tutto ciò che orbita intorno alla Terra ed è stato creato dall'uomo ed ora a lui non più utile, ovvero rottami derivati

dalle attività spaziali. Negli ultimi anni il numero di detriti aerospaziali è aumentato vertiginosamente, tipicamente quelli rivelati sono di dimensioni maggiori di 20 cm e attualmente sembrerebbero essere circa 9000. Tuttavia, secondo stime teoriche, esistono decine di migliaia di oggetti di dimensioni inferiori e parecchi miliardi di oggetti di dimensione minuscole (da 0,1mm a 1cm), che considerando la velocità a cui avverrebbe un eventuale collisione, provocherebbero un effetto disastroso.

L'origine di questi detriti risalirebbe da stadi propulsivi di razzi, satelliti non più funzionanti, bulloni, scaglie di vernice, e frammenti dovuti a esplosioni o a collisioni, derivate da esperimenti militari statunitensi e russi. Poiché la ripulitura dello spazio ha aspetti irrisolvibili, il primo passo è costituito sicuramente dalla prevenzione, ad esempio svuotando sistematicamente i serbatoi dei razzi o cercare, come fa l'ESA (Agenzia Spaziale Europea), di far rientrare i satelliti al termine del loro funzionamento nello spazio oppure spingerli verso orbite più lontane.

## CONCLUSIONI

Dopo aver analizzato caratteristiche e usi dell'endoreattore, possiamo notare come ancora una volta il progresso dell'uomo abbia dei risconti positivi e altri negativi.

Come disse Umberto Veronesi: *"il progresso apre nuove opportunità ma anche sfide inedite e profondi dilemmi morali che devono essere governati"*.

## SITOGRAFIA

[www.wikipedia](http://www.wikipedia)

[www.adnkronos.com](http://www.adnkronos.com)

[www.aereospacecue.it](http://www.aereospacecue.it)

[www.appuntidigitali.it](http://www.appuntidigitali.it)

[www.esa.int](http://www.esa.int)

[www.vitrociset.it](http://www.vitrociset.it)

[www.dma.ing.uniroma1.it](http://www.dma.ing.uniroma1.it)