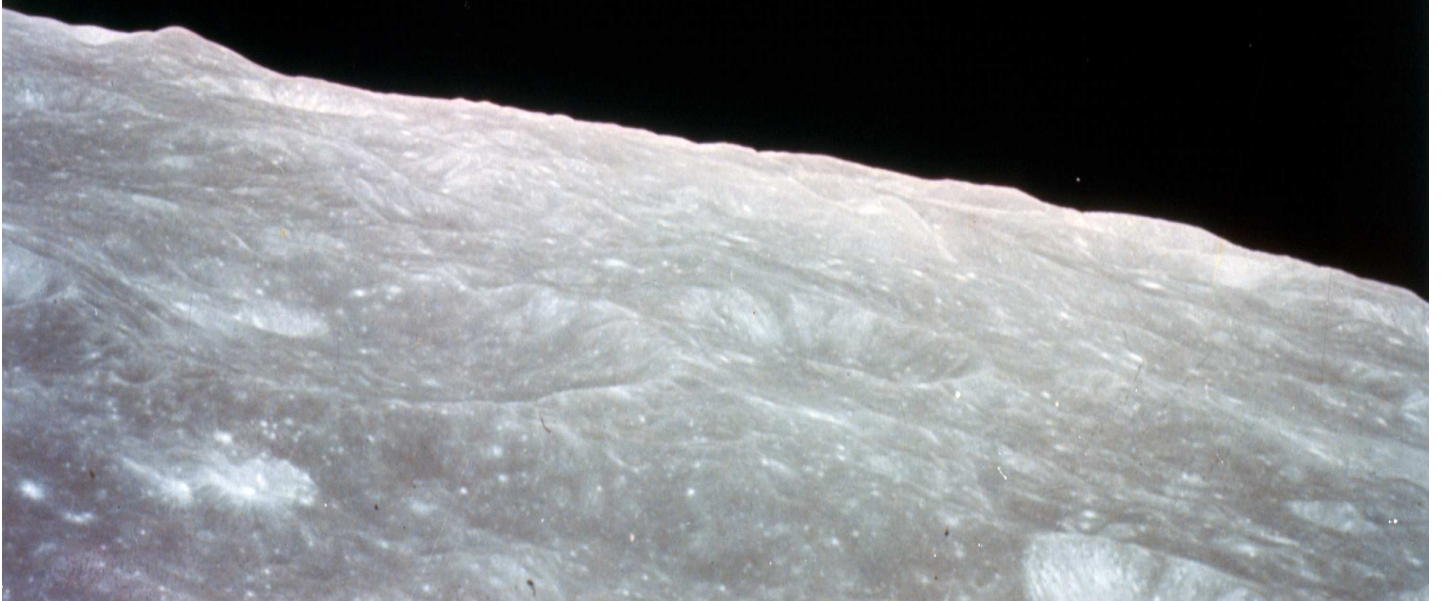
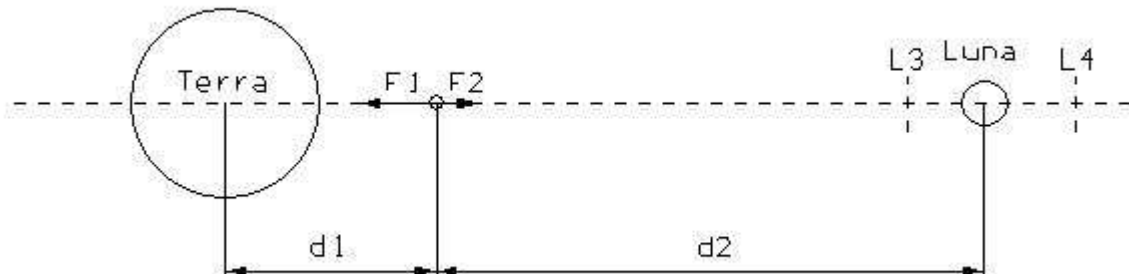




LA DISTANZA TERRA-LUNA:  
TRA REALTÀ ED IMMAGINAZIONE



**Calcolo dei punti di Lagrange (zone dello spazio a gravità nulla) esistenti tra la Terra e la Luna e della velocità necessaria per arrivarci.**



(Valutiamo innanzitutto l'entità della forza gravitazionale alla quale è soggetto un corpo di massa  $m$  che si trovi a distanza  $d_1$  dalla Terra ed a distanza  $d_2$  dalla Luna (ipotizzando una velocità tangenziale alla direttrice Terra Luna nulla).

$$F_1 = K \frac{M_T * m}{d_1^2} \quad F_2 = K \frac{M_{Luna} * m}{d_2^2}$$

Per non trattare numeri troppo lunghi, esprimiamo le distanze in termini di raggi terrestri  $d_r$  e di raggi lunari  $d_L$ :

$$d_r = \frac{d_1}{r_T} \quad d_L = \frac{d_2}{r_L}$$

In questo modo evitiamo di esprimere sia il valore della costante di gravitazione universale  $K$  sia il valore delle masse della Terra e della Luna, sapendo solo la misura del raggio medio della Terra e della Luna e la forza di gravità sulla Terra e sulla Luna; per la Terra)

$$\text{campo gravitazionale terrestre} \quad \frac{F_T}{m} = \frac{9,81}{(D_T)^2}$$

$$\frac{F_1}{m} = \frac{9,81}{(d_{r1})^2}$$

infatti per  $d_{r1} = 1$ , la forza di gravità è pari a  $9,81 \text{ m/sec}^2$  e diminuisce con il quadrato della distanza.

Per la Luna, la forza di gravità sulla sua superficie è pari ad  $1/6$  di quello sulla Terra, e quindi vale  $1,635 \text{ m/sec}^2$ ; quindi:

$$\frac{F_2}{m} = \frac{1,635}{(d_L)^2}$$

(nel senso che per  $d_L=1$  la forza di gravità sulla Luna vale  $1,635 \text{ m/sec}^2$ , per  $d_L=2$  la forza di gravità esercitata dalla Luna diminuisce di 4 volte, per  $d_L=3$  la forza di gravità esercitata dalla Luna diminuisce di 9 volte e così via; siccome però conviene esprimere le due distanze con una sola unità di misura, cioè in termini di raggi terrestri, valgono le relazioni:

$$d_2 = d_L * r_L = d_{r2} * r_T$$

$$d_L = d_r * \frac{r_T}{r_L}$$

per cui:

$$\frac{F_2}{m} = \frac{1,635}{(d_L)^2} = 1,635 \left( \frac{r_L}{r_T} \right)^2 \frac{1}{(d_{r2})^2}$$

sostituendo:

sapendo che il raggio terrestre medio vale  $r_T = 6370 \text{ Km}$  mentre il raggio lunare medio vale  $r_L = 1738 \text{ Km}$ , abbiamo:

$$\frac{F_2}{m} = 1,635 \left( \frac{r_L}{r_T} \right)^2 \frac{1}{(d_r)^2} = 0,1217 \frac{1}{(d_{r2})^2}$$

La forza risultante  $F_R$  alla quale il corpo di massa  $m$  è soggetto alla distanza di  $d_r$  raggi terrestri è quindi:

$$F_T = F_1 - F_2$$

Dividendo ambo i membri per  $m$ :

$$\frac{F_T}{m} = \frac{F_1}{m} - \frac{F_2}{m} = \frac{9,81}{(d_{r1})^2} - \frac{0,1217}{(d_{r2})^2}$$

Nei punti di Lagrange  $F_T = F_1 - F_2 = 0$  e quindi anche  $F_T / m = 0$ ; inoltre la distanza  $d_{r2}$  dalla Luna è uguale alla distanza  $D_{TL}$  tra la Terra e la Luna -  $d_{r1}$ ; otteniamo quindi l'equazione ai punti di equilibrio:

$$\frac{F_T}{m} = \frac{F_1}{m} - \frac{F_2}{m} = \frac{9,81}{(d_{r1})^2} - \frac{0,1217}{(d_{r2})^2} = \frac{9,81}{(d_{r1})^2} - \frac{0,1217}{(D_{\pi} - d_{r1})^2} = 0$$

Otteniamo:

$$9,81(D_{\pi} - d_{r1})^2 = 0,1217(d_{r1})^2$$

posto:

$$K_T = 9,81 \quad ; \quad K_L = 0,1217$$

si perviene alla seguente equazione di 2° grado:

$$(K_T - K_L)d_{r1}^2 - 2K_T D_{\pi} d_{r1} + K_T D_{\pi}^2 = 0$$

che porta alle due soluzioni espresse dall'equazione:

$$d_{r1} = D_{\pi} \frac{K_T \pm \sqrt{K_T K_L}}{K_T - K_L}$$

Espressa  $D_{TL}$  (distanza media tra la Terra e la Luna, pari a 384.000 Km) in termini di raggi terrestri:

$$D_{TL} = 384.000/6370 = 60,28 \text{ raggi terrestri}$$

e chiamando  $L_3$  ed  $L_4$  le distanze dei due punti lagrangiani ottengo:

$$L_3 = D_{\pi} \frac{9,81 - 1,093}{9,81 - 0,1217} = 0,9 D_{\pi}$$

$$L_4 = D_{\pi} \frac{9,81 + 1,093}{9,81 - 0,1217} = 1,125 D_{\pi}$$

Per il calcolo della velocità iniziale necessaria per raggiungere il primo punto di Lagrange  $L_3$  si calcola il lavoro necessario e lo si eguaglia all'energia cinetica iniziale:

$$L = \int_1^{D_{\pi} 0,9} F_T d(d_{r1})$$

posto:

$$d_{r1} = x \quad \text{si ha:}$$

$$L = \int_1^{D_{\pi} 0,9} \left[ 9,81 \frac{m}{x^2} - 0,1217 \frac{m}{(D_{\pi} - x)^2} \right] dx$$

$$L = m \left[ -9,81 \frac{1}{x} + 0,1217 \frac{1}{D_{\pi} - x} \right]_{0,9D_{\pi}}^1 = m \left( -9,81 \frac{1}{0,9D_{\pi}} + 9,81 + 0,1217 \frac{1}{D_{\pi} - 0,9D_{\pi}} - 0,1217 \frac{1}{D_{\pi} - 1} \right)$$

sostituendo ottengo:

$$L = m(-0,1808 + 9,81 + 0,02 - 0,0021) = 9,607 m$$

in N raggi terrestri; tradotto in N m si ha:

$$L = m * 9,607 * 6,37 * 10^6 = m * 61,2 * 10^6 \text{ Joule}$$

Tale lavoro è uguale all'energia cinetica iniziale:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

uguagliando:

$$\frac{1}{2} m v^2 = m * 61,2 * 10^6$$

risulta:

$$v = \sqrt{2 * 61,2 * 10^6} = \sqrt{122,4 * 10^6} = 11.063 m / sec$$

In realtà, anche se lentamente, una massa nella zona di Lagrange ruota lentamente, con la stessa velocità di rotazione angolare della Luna, e quindi la somma algebrica della forza di attrazione della Terra e di quella della Luna non dovrà essere uguale a 0 ma uguale alla forza centripeta necessaria per farla ruotare, a quella distanza, intorno alla terra con un periodo di rotazione di 28 giorni; in formule:

$$\frac{F_T}{m} = \frac{9,81}{(d_{r1})^2} - \frac{0,1217}{(D_{\pi} - d_{r1})^2} = a_c$$

essendo  $a_c$  l'accelerazione centripeta espressa dall'equazione:

$$a_c = \omega^2 r = \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r$$

Ne risulta un'equazione di quarto grado che va risolta per successive approssimazioni; posto, in prima approssimazione:

$$r = 0,9D_{\pi}$$

$a_c$  assume comunque un valore molto piccolo, pari a  $0,00233 \text{ m/sec}^2$ ; la formula che esprime la condizione di equilibrio è:

$$\frac{9,81}{(d_{r1})^2} - \frac{0,1217}{(D_{TL} - d_{r1})^2} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 d_{r1}$$

essendo  $d_{r1}$  la distanza del punto di Lagrange L3 dal centro della Terra espresso in raggi terrestri. Comunque, una volta arrivato al punto di Lagrange L3 il contenitore che porta materiale per la costruzione ad es. di un telescopio dovrà accendere il propulsore per il tempo necessario ad acquisire la differenza tra la velocità periferica della Terra, nel punto dal quale è partito, e la velocità di rotazione intorno alla Terra nel punto di Lagrange considerato. Ad esempio all'equatore la velocità periferica è pari a 1667 Km/h o 463 m/sec;

alla distanza di  $0,9 D_{TL} = 0,9 * 384.000 = 345.600$  Km la nuova velocità tangenziale risulta di 3231 Km/h o 898 m/sec; la velocità tangenziale andrà aumentata quindi di 435 m/sec o di 1566 Km/h.

## La distanza Terra-Luna e i suoi studi nel corso del tempo

La distanza della Luna dalla Terra viene misurata da lungo tempo adoperando il metodo della parallasse. Si misura, cioè, l'angolo formato dalle due direzioni secondo cui viene osservata la Luna da due punti sulla Terra (purché lontani fra loro), nota la distanza fra i due punti, con un semplice calcolo trigonometrico si ricava la distanza cercata. L'accuratezza di questa misura è andata crescendo grazie all'uso di telescopi sempre più potenti e precisi. I risultati così ottenuti sono ormai molto affidabili, e tuttavia nell'ultimo cinquantennio sono stati messi a punto nuovi metodi di misura ancor più accurati, utilizzando prima il radar e poi il laser.

Oggi con l'utilizzazione della **telemetria laser** si ottengono misure molto meno macchinose ed estremamente più precise. In pratica, si calcola il tempo impiegato da un fascio di onde elettromagnetiche per compiere il viaggio di andata e ritorno Terra-Luna. Il risultato di calcolo è di circa 2,56 sec., con variazioni di 11,6 millesimi di sec. In funzione del punto dal quale il fascio laser viene riflesso.

Fin dall'antichità si è cercato di misurarne la distanza dal nostro pianeta (Aristarco di Samo, Ipparco, Copernico, Tycho Brahe, Keplero). Già nel 1969, grazie ai primi riflettori installati sulla Luna dagli astronauti, è stato possibile catturare la luce riflessa dalla superficie lunare. Un orologio atomico può cronometrare con precisione il tempo di andata e ritorno e consentire una precisione straordinaria nella misura della distanza Terra-Luna, con un errore di 10 cm su 400 000 m. La maggior precisione del laser emettente non consentirà, però, di eliminare un problema che potrà essere evitato soltanto con misure da telescopi spaziali lontani dalla terra: la *presenza dell'atmosfera terrestre*. Essa modifica il percorso e la velocità di propagazione dei raggi laser, nonostante l'accuratezza sempre maggiore dei modelli utilizzati per simulare l'atmosfera e ridurre l'errore.

Al giorno d'oggi siamo già in grado di misurare la distanza Terra-Luna ad un dato istante con un'incertezza quasi nulla. Nel 2002 sulla Luna sono stati piazzati 5 riflettori costituiti da schiere di 100-300 prismi lasciati dalle tre missioni apollo e da due missioni sovietiche allo scopo di riflettere un raggio laser, della potenza di picco di un miliardo di Watt, che è stato sul nostro satellite dal New Mexico dall'Apache Point Telescope (3,5 metri di diametro); poiché la velocità della luce nel

vuoto è costante, misurando il tempo di viaggio di andata e ritorno dell'impulso si può risalire facilmente alla distanza percorsa. Gli studi sui raggi riflessi hanno permesso di ottenere una misura affetta da un'incertezza di solo qualche millimetro. Oggi noi possiamo affermare con assoluta certezza che la distanza effettiva della Luna dalla Terra varia tra 356.410 km al perigeo e 384.700 km all'apogeo, e che in media è di circa 384.400 km, cioè circa 60 volte il raggio terrestre.

Il motivo per cui si pone tanta cura nella misura di una distanza in cui le cifre decimali non sembrerebbero avere così tanta importanza sta nel fatto che la maggiore precisione di un dato come questo potrà dare informazioni necessarie per risolvere problemi astronomici, astrofisica e planetologici di importanza fondamentale, apparentemente slegati dalla distanza Terra-Luna. Tale misura permette di verificare e migliorare la teoria, molto complessa, del moto lunare.

La conoscenza della distanza Terra-Luna è preziosa per stabilire l'esatta entità degli *scambi di energia*, non solo gravitazionale, tra i due corpi.

Essa consente poi di ottenere informazioni indirette sulla *struttura interna della Luna* e, se condotta con metodi moderni, ci può dare, in una sola notte, indicazioni sul *rallentamento della rotazione terrestre* per ottenere le quali, con il metodo tradizionale, occorrerebbero mesi.

Infine, grazie a queste misure laser, oggi *l'orbita della Luna* è stata determinata con estrema precisione.

Al di là della misura in sé, tanta precisione è servita e serve tutt'ora per verificare la teoria generale della relatività di Einstein.

## La Filosofia della Scienza nel '900

Dopo la fase ottocentesca dominata dal positivismo europeo si ebbe un indebolimento di tale filosofia, dovuto al fatto che cadeva la certezza di leggi assolute relative alle scienze. Le scoperte scientifiche avevano dimostrato che non esiste una matematica con valore assoluto (come pensava Kant). In particolare la geometria euclidea si dimostrò inapplicabile in alcune situazioni. Se dunque la geometria non si fonda su postulati necessariamente veri, si possono costruire più geometrie: l'importante è che siano al loro interno formalmente e logicamente coerenti. Nell'800 Boole era riuscito a ridurre la logica a formule matematiche (simboli) e Frege aveva dimostrato che i numeri matematici non sono altro che combinazioni di concetti logici.

Con Einstein (1879-1955) anche la massa, come già il tempo e spazio negli scienziati di fine '800, cessa di essere una proprietà costante dei corpi, non assumendo più caratteri assoluti: tutto viene riferito alla velocità della luce ( $E=mc^2$ ); con Planck si teorizza che l'energia non è emessa in modo continuo con l'aumentare della temperatura, ma in modo discontinuo e in quantità determinate (quanta, cioè quantità di energia) in funzione delle frequenze della radiazione. La teoria quantistica fu usata per spiegare la struttura dell'atomo. Si arriva così ad unificare l'ipotesi newtoniana del carattere corpuscolare dell'energia, con quella ondulatoria ipotizzata da Huygens. Infine Heisenberg (1901-1976) fece crollare un altro dogma della fisica classica, quello del determinismo della materia, dimostrando l'esistenza di un margine di indeterminatezza in tutti i fenomeni: l'energia trasmessa per quanti non è determinabile contemporaneamente per più di una grandezza fra quelle prese in esame (o si misura la posizione di una particella nello spazio, o la sua velocità, o la sua energia).

La sintesi della nuova situazione in cui si trovano le scienze può essere indicata da Popper, esponente della filosofia della scienza (epistemologia): lo scienziato non può basarsi sul principio di verificabilità praticato dai neopositivisti (secondo il quale dal fenomeno si arriva alla legge in base alla sperimentabilità del fenomeno stesso). Ogni teoria si mostra utile in una determinata fase di conoscenze dell'umanità, poi viene abbandonata perché subentra una teoria più adatta alla nuova situazione. Allora è più utile e meno pretenzioso basarsi non sul passato (gli esperimenti che convalidano la legge) ma sul prevedere quali esperimenti potrebbero falsificare in futuro la teoria e, dunque, la legge in questione. L'induzione (la somma di esperienze passate) è meno utile della falsificazione (la previsione di casi in cui la teoria può essere smentita). E' dalla falsificazione (tentativi per prove ed errori, per ipotesi, congetture e confutazioni) che si traggono maggiori informazioni sulla realtà.

### Plinio il Vecchio, "Eclisse" (Nat. His. Lib. II)

[...]

*E, primo tra i Romani, illustrò la ragione dell'eclissi di entrambi Sulpicio Gallo, che fu console con M.Marcello ma anche tribuno militare, liberando l'esercito dall'ansietà il giorno prima che Perseo fosse sconfitto da Paolo, con un discorso nel quale, invitato dal comandante, prediceva l'eclissi in base ad una sovrapposizione dell'orbita.*

*Tra i Greci le studiò primo di tutti Talete di Mileto che predisse l'eclissi di sole dell'anno quarto della XLVIII (48) Olimpiade, che accadde sotto il regno di Alyatte nell'anno CLXX (170) ab urbe condita. Dopo di loro Ipparco predisse il corso di entrambi gli astri per seicento anni, specificando mesi, giorni, ore, e riassumendo la posizione dei luoghi e l'aspetto visto dalla gente, testimoniando l'eternità in nessun altro modo che secondo le leggi della natura.*

[...]

Questo è un estratto tradotto del secondo libro della Naturalis Historia, la maggiore opera di Plinio il Vecchio, in cui l'autore parla anche dell'eclisse di Luna prevista da Sulpicio Gallo nel 168 a.C. L'autore nacque a Como nel 23-24 d.C.; egli apparteneva all'ordine equestre romano e comandò a lungo uno squadrone di cavalleria sul Reno. Vero modello di **funzionario imperiale**, ricoprì anche importanti incarichi amministrativi durante i regni Vespasiano (69-79 d.C.) e Tito (79-81 d.C.). Ammiraglio, infine, della flotta romana stanziata a Miseno (vicino a Napoli), durante il regno di Tito, egli esercitava ancora questo comando quando trovò la morte per asfissia causata dall'eruzione del Vesuvio, che seppellì le città campane (soprattutto Pompei ed Ercolano) nell'agosto del 79 d.C., quando si trovava a Stabile (odierna Castellammare), dove era andato per studiare da vicino lo straordinario evento e per recare aiuto agli abitanti del luogo. Una buona parte delle nostre informazioni su di lui (sulla vita, sul catalogo delle opere e sul suo metodo di lavoro) ci provengono dalla corrispondenza di un suo nipote e figlio adottivo, Plinio "il Giovane". Sotto gli imperatori della casa Flavia (Vespasiano, Tito e Domiziano) vennero represses le forze dell'animo e del pensiero (per esempio, iniziarono le persecuzioni contro i filosofi) e trionfò invece lo spirito dell'imitazione e dell'adulazione; inoltre, era ancora consentito lo **sviluppo nel campo dell'erudizione o della cultura tecnica e scientifica**, del quale uno dei più importanti rappresentanti fu Plinio. Fu autore, come ci testimonia il nipote nel suo elenco, di saggi storici molto stimati. Tuttavia, per noi, Plinio è soprattutto un "**enciclopedista**", le cui straordinarie conoscenze si trovano raccolte nei 37 libri della sua "*Naturalis historia*" ("Storia naturale", ma il senso esatto sarebbe piuttosto "La scienza della natura"), vasta indagine (finita del 77-78) su tutto ciò che esiste in natura, partendo dall'essere umano e passando ad argomenti che spaziano dall'arte alla medicina, una vera e propria **summa del sapere reperibile**



fino a quel momento in autori soprattutto greci, ma anche latini; infatti lui stesso sottolinea che non si tratta di un lavoro originale e neppure di un'opera letteraria elaborata che abbia come fine quello di catturare l'attenzione del lettore, è piuttosto un grande **archivio di dati**, desunti da un lavoro di schedatura e riassunto di circa 2000 volumi scientifici.

### ***Lo sbarco sulla luna***

Nel maggio del 1961 venne istituito il programma Apollo, con l'obiettivo di portare un uomo sul suolo lunare e farlo ritornare a Terra. Questo progetto produsse un'ampia serie di voli pilotati e nel corso degli anni successivi vennero effettuate circa dieci missioni nell'ambito del progetto Gemini.

Le prime spedizioni si svolsero durante i mesi del 1967, anno segnato da tragici incidenti per entrambe le nazioni che si proponevano il traguardo dell'esplorazione della superficie lunare. Il 27 gennaio, durante un test della navicella Apollo a Cape Kennedy, si sviluppò un incendio nel modulo di comando; a causa dell'atmosfera interna pressurizzata con ossigeno puro, le fiamme divamparono all'istante e i tre astronauti Grissom, White e Roger B. Chaffee persero la vita. Il programma Apollo venne ritardato di oltre un anno per rivedere il progetto del veicolo e i materiali utilizzati. Il 23 aprile dello stesso anno venne lanciato nello spazio dall'Urss il cosmonauta Komarov a bordo della Soyuz, una nuova navicella sovietica che poteva ospitare tre astronauti ed era dotata di un modulo di lavoro separato, accessibile attraverso un portello.

Un incidente mortale si verificò purtroppo durante il rientro nell'atmosfera terrestre, quando i cordoni per l'apertura del paracadute di atterraggio si attorcigliarono. Nell'ottobre del 1968 venne lanciato il primo Apollo con equipaggio. Gli astronauti Schirra, R. Walter Cunningham e Donn F. Eisele effettuarono 163 orbite durante le quali controllarono le prestazioni della navicella, scattarono numerose fotografie della Terra e trasmisero immagini televisive. Nel dicembre del 1968 l'Apollo 8, che portava a bordo gli astronauti Borman, Lovell e William A. Anders, compì dieci giri intorno alla Luna, quindi atterrò regolarmente. Lo sgancio, l'avvicinamento e il riaggancio del modulo lunare vennero provati nel corso delle 151 orbite terrestri dell'Apollo 9, con gli astronauti James A. McDivitt, David R. Scott e Russell L. Schweickart. L'Apollo 10 effettuò una prova generale di allunaggio, durante la quale gli astronauti Stafford e Cernan si trasferirono dal modulo di comando al Lem e scesero fino a circa 16 km dalla superficie lunare. Durante l'operazione essi provarono l'avvicinamento e il riaggancio del Lem, quindi si trasferirono di nuovo nel modulo di comando, nel frattempo affidato all'astronauta Young. Con questa missione il progetto Apollo era pronto per portare l'uomo sulla Luna. Nello stesso periodo l'Unione Sovietica lanciò la Zond, una navicella senza equipaggio che effettuò numerose riprese e alcuni importanti esperimenti biologici.

Nell'ottobre del 1968 l'astronauta Georgi T. Beregovoi effettuò una missione di 60 orbite con la Soyuz 3, e nel gennaio dell'anno successivo le Soyuz 4 e 5 si incontrarono in orbita; mentre le due navicelle erano attaccate, i cosmonauti Aleksej S. Yelisejev e Ievgeny V. Khrunov, utilizzando delle tute spaziali, si trasferirono dalla Soyuz 5 alla Soyuz 4, che era pilotata da Vladimir A. Shatalov. Nell'ottobre del 1969, le Soyuz 6, 7 e 8, lanciate a un giorno di distanza l'una dall'altra, si incontrarono in orbita senza però agganciarsi. Nel giugno del 1970 la Soyuz 9, con un equipaggio di due cosmonauti, effettuò un volo record di quasi 18 giorni. Nel 1969 fu raggiunto l'obiettivo di effettuare lo sbarco sulla Luna. Il volo storico dell'Apollo 11 iniziò il 16 luglio. Dopo essere entrati in orbita lunare, Edwin E. Aldrin, Jr. e Neil A. Armstrong si trasferirono nel Lem, il modulo per l'allunaggio, mentre il modulo di comando era affidato al pilota Michael Collins. Il modulo lunare toccò la superficie del satellite il 20 luglio, nei pressi del margine del Mare della Tranquillità e poche ore dopo Armstrong mise piede sul suolo lunare, con le parole: "Questo è un piccolo passo per un uomo, ma un balzo gigante per l'umanità".

L'astronauta venne raggiunto da Aldrin e insieme camminarono due ore sulla superficie della Luna, sperimentando una forza di gravità pari a un sesto di quella terrestre; raccolsero 21 kg di campioni del suolo, scattarono fotografie e installarono un apparato sperimentale per l'analisi del vento solare, un riflettore laser e un laboratorio per misure sismiche; issarono quindi una bandiera statunitense e comunicarono, via satellite, con il presidente Usa Richard Nixon, mentre milioni di persone seguivano in diretta la trasmissione. Armstrong e Aldrin lasciarono il nostro satellite utilizzando lo stadio superiore del Lem e sfruttando quello inferiore come rampa di lancio. Il modulo di risalita venne abbandonato dopo l'aggancio con il modulo di comando e i due astronauti si trasferirono di nuovo nella navicella. Il volo di ritorno dell'Apollo 11 non presentò inconvenienti e la navicella ammarò il 24 luglio nell'oceano Pacifico, vicino alle Hawaii, dove venne facilmente recuperata. Benché la possibilità di contaminazione da parte di organismi viventi lunari fosse remota, gli astronauti indossarono indumenti isolanti prima di lasciare la navicella e vennero sottoposti a un periodo di quarantena; i controlli medici non evidenziarono alcun problema di salute. La successiva missione di allunaggio iniziò il 14 novembre 1969, quando venne lanciato l'Apollo 12 con a bordo gli astronauti Charles Conrad Jr., Richard F. Gordon Jr. e Alan L. Bean.

Dopo l'entrata in orbita lunare, Conrad e Bean si trasferirono nel Lem, quindi sbarcarono sulla superficie del satellite ad appena 180 m dal luogo dove due anni prima si era posata la sonda Surveyor 3. I due astronauti esplorarono la zona circostante in due fasi, ciascuna di circa quattro ore, durante le quali essi effettuarono esperimenti scientifici, scattarono numerose fotografie, prelevarono campioni del suolo lunare e raccolsero alcuni pezzi del Surveyor 3 perché fossero esaminati sulla Terra.

Dopo il decollo dalla Luna e il rendez-vous con il modulo di comando pilotato da Gordon, ammararono felicemente il 24 novembre. Il successo dell'Apollo 12, che presentava caratteristiche tecniche notevolmente migliori rispetto all'Apollo 11, in particolare per quanto riguardava la precisione nello sbarco, indusse a stabilire per l'Apollo 13 un sito di allunaggio più irregolare. L'11 aprile 1970 venne lanciato l'Apollo 13, con a bordo gli astronauti Lovell, Fred W. Haise, Jr. e John L. Swigert, Jr. Una grave avaria durante il volo, prodotta dalla rottura di un serbatoio di ossigeno, costrinse gli astronauti a cancellare il piano di allunaggio.

Utilizzando l'energia e i sistemi di sopravvivenza del Lem, essi girarono attorno alla Luna e ammararono nell'oceano Pacifico meridionale, a sud di Pago Pago, il 17 aprile.

La missione fallita dell'Apollo 13 venne portata a compimento dall'equipaggio dell'Apollo 14, lanciato il 31 gennaio 1971, dopo alcune modifiche apportate alla navicella per evitare l'inconveniente occorso alla precedente. Gli astronauti Shepard, ormai veterano dello spazio, ed Edgar D. Mitchell allunarono con il Lem, mentre Stuart A. Roosa rimase nel modulo di comando in orbita lunare. Shepard e Mitchell esplorarono per oltre nove ore un'area che si credeva contenesse alcune delle rocce più vecchie mai studiate, raccogliendo circa 43 kg di campioni geologici e predisponendo delle apparecchiature per esperimenti scientifici. Il 9 febbraio 1971 gli astronauti tornarono sulla Terra senza incidenti. L'Apollo 15 venne lanciato il 26 luglio 1971, con a bordo il comandante Scott, il pilota del Lem James B. Irwin e il pilota del modulo di comando Alfred M. Worden. Scott e Irwin rimasero 2 giorni e 18 ore sulla superficie lunare ai margini del mare Imbrium, in prossimità della scarpata profonda 366 m di Hadley e degli Appennini lunari, una delle catene più alte. Nel corso della loro esplorazione, gli astronauti percorsero più di 28,2 km nella zona del monte Hadley, servendosi di un rover elettrico a quattro ruote. Prepararono inoltre una complessa serie di strumenti scientifici e raccolsero circa 91 kg di rocce, tra cui un frammento di circa 4,6 miliardi di anni che venne ritenuto un costituente della crosta cristallina originale del satellite. Una telecamera lasciata al suolo riprese la partenza di Scott e Irwin dalla superficie della Luna; prima che l'equipaggio lasciasse l'orbita lunare per ritornare verso la Terra, venne lanciato un "subsattellite" di 35,6

kg, progettato per trasmettere dati sui campi gravitazionale, magnetico e di alta energia dell'ambiente lunare. Nel corso del viaggio di ritorno, Worden fece una passeggiata spaziale di 16 minuti quando la navicella si trovava a circa 315.400 km dalla Terra.

Gli astronauti dell'Apollo 15 ammararono senza incidenti il 7 agosto, circa 530 km a nord delle Hawaii. Il 16 aprile 1972 gli astronauti Young, Charles Moss Duke, Jr. e Thomas Kenneth Mattingly vennero lanciati verso la Luna a bordo dell'Apollo 16, per esplorare le colline di Cartesio e le pianure di Cayley. Il 20 aprile, mentre Mattingly li attendeva in orbita, gli altri due astronauti effettuarono l'allunaggio nell'area prevista, dove rimasero 20 ore e 14 minuti, eseguendo numerosi esperimenti, percorrendo circa 26,6 km con il rover e prelevando oltre 97 kg di campioni di rocce. Le missioni verso la Luna programmate dagli Stati Uniti si conclusero con il volo dell'Apollo 17, tra il 6 e il 19 dicembre 1972. Nel corso della missione di 13 giorni, l'astronauta Cernan e il geologo Harrison H. Schmitt rimasero 22 ore sul suolo lunare, percorsero 35 km con il rover ed esplorarono la regione della valle di Taurus-Littrow, mentre al comandante Ronald E. Evans era affidato il modulo di comando.

## **Il Surrealismo e Renè Magritte**

Nelle opere di Magritte il rapporto tra immagine e realtà si sviluppa in maniera del tutto nuova e inconsueta rispetto al passato. Nei suoi lavori non troviamo solo rappresentazioni “sognanti” o bizzarre fini a se stesse: fermarsi a una considerazione così superficiale significherebbe negarsi la possibilità di comprendere la vera e straordinaria “sostanza” dell’opera di un artista che si distinse in modo particolare da tutti gli altri surrealisti. La sua ricerca non proviene dal sogno e dall’inconscio, ma si basa sul rapporto tra realtà, immagine e visione, sulla creazione di situazioni impossibili o ambigue, sconvolgendo la realtà attraverso un’attenta riflessione.

Tutta la produzione di Magritte si fonda su una semplice convinzione: ciò che è nascosto e difficile da raggiungere (con gli occhi, con la mente, con la sensibilità del cuore) è molto più emozionante e perciò degno di maggiore interesse di ciò che è manifesto e già a portata di mano. La natura è onnipresente nel suo percorso artistico proprio perchè rappresenta per lui il mezzo privilegiato per interrogarsi sul mistero delle cose. Attraverso di essa egli si diverte a giocare con il conosciuto e il celato, con l'evidente e il segreto, con il buon senso e il non senso, e a ribaltare il convenzionale nell'enigma. Eccolo allora impegnato a dispiegare tende, a incappucciare i volti o a nasconderli dietro mele o fiori, a inserire frammenti che mostrano il dietro, il sotto, il segreto della realtà, a inventare sovrapposizioni che portano in primo piano ciò che non si dovrebbe vedere.

Il surrealismo di Magritte è per molti versi anomalo, molto lontano, ad esempio, dal movimento "psicoanalitico" e vagamente simbolista dei primi anni o da quello onirico, cupo e angosciante di Salvador Dalì. Il maestro belga (probabilmente influenzato da un antico gusto fiammingo per il dettaglio e la riproduzione minuziosa della realtà e memore delle sue prime esperienze artistiche come produttore di manifesti e cartelloni pubblicitari) tende a raffigurare gli oggetti con un'estrema precisione nei particolari, tanto da farli assomigliare a illustrazioni stampate, e li mette in relazione fra loro avvalendosi della tecnica dello spaesamento: prende oggetti banali, conosciuti, familiari (una mela, un ombrello, una bombetta,...) e li associa in modo inaspettato, li pone in luoghi o situazioni inusuali, trasformandoli sia a livello fisico sia a livello semantico. Questa giustapposizione incongrua ha lo scopo di spiazzare lo spettatore, di sconvolgerlo e di spingerlo così a riflettere sulla sua condizione, sulle sue certezze, sulle abitudini che lo condannano ad avere una visione piatta e falsata della realtà. Gli oggetti accostati talvolta arrivano persino a penetrare l'uno nell'altro, a fondersi in una metamorfosi tanto affascinante quanto

inquietante, e a farsi in questo modo portatori di un nuovo significato surrealista che singolarmente non avevano.

Uno degli aspetti più intriganti della sua analisi sulle relazioni tra pensiero e linguaggio è rappresentato dalla scelta dei titoli dei quadri. Essi non hanno mai alcun nesso esplicito con il soggetto raffigurato. Pare venissero scelti dall'autore e dalla sua cerchia di amici attraverso un giochetto assai simile al metodo di indagine psicoanalitica delle libere associazioni. Ciascuno dei partecipanti scriveva su un foglietto la prima cosa che gli saltava in mente osservando il quadro, poi si confrontavano i risultati e si sceglieva il titolo che si giudicava più adatto. Quasi sempre il meno scontato e probabile. Sembra che Magritte si affidasse a questo trucco non solo per dare un nome alle sue opere, ma a volte persino per dipingerle. Prima pensava a un oggetto, lo abbozzava sulla tela e lasciava che questo primo elemento evocasse in lui sensazioni, fantasie e ricordi, poi a partire da questi ne disegnava un altro, e così via fino a completare il quadro. Questo meccanismo aveva il pregio di lasciare il pittore libero di creare e rielaborare a piacimento i suoi mondi interiori, di slegarlo da qualsiasi condizionamento esterno alla sua mente e al suo animo. Alla completa libertà di invenzione dell'autore può così corrispondere la piena autonomia di interpretazione dello spettatore, al quale deve essere garantita la possibilità di individuare nel quadro il significato che preferisce, senza costrizioni. E' per questo che Magritte ha sempre rifiutato con fermezza un'interpretazione univoca dei suoi quadri ed è più volte entrato in polemica con chi si ostinava a psicoanalizzarli, sforzandosi di trovarci a ogni costo chissà quali tenebrosi significati.

***“La battaglia delle Argonne”:* 1959, olio su tela, 50x61 cm, New York**

Magritte si diverte a giocare con i nostri sensi, togliendo alle cose le proprie qualità di peso, così ad esempio una roccia si trova a fluttuare nel cielo accanto ad una nuvola.

La visione è da mozzafiato: la scena presenta un'immane roccia, librata su un borgo, e una nube dalla forma simile che galleggiano, contro ogni logica o senso comune, nel cielo, al cui centro è posta una falce di luna che ci assicura che è tutto vero e normale. Non sappiamo se la roccia sia immobile, se stia precipitando o si stia sollevando, potrebbe addirittura rappresentare il momento prima dello scontro tra una nuvola ed un masso, leggero e pesante, felicità e paura, bianco e nero che stanno per incontrarsi e dar vita a quell'unità che ci rappresenta tutti. Magritte gioca con i sensi dell'osservatore e con i suoi più forti e radicati convincimenti aggiungendo alla roccia una qualità (quella di poter volare o sollevarsi), ovvero privandola dell'attributo del peso, sottraendola, in ambedue i casi, alla legge di gravità cui, per propria natura, essa è soggetta

## **Il nuoto**

Il nuoto è uno sport completo, dove si utilizzano tutti i muscoli del corpo. I muscoli maggiormente sollecitati sono i dorsali e le braccia, mentre le gambe vengono utilizzate poco, spesso solo a scopo di galleggiamento e non propulsivo. Nel nuoto la forza sviluppata dai muscoli non è massimale, nemmeno per le gare più brevi, e questo è dovuto al fatto che l'acqua non fornisce un appoggio fisso dove ancorarsi per "tirare" con tutta la propria forza, e l'atleta non deve vincere la forza di gravità, ma deve "scivolare" dentro a un fluido in assenza di gravità. Anche per questo motivo, i muscoli di un nuotatore non appaiono grossi e definiti come quelli di un centometrista, che deve vincere la forza di gravità ed esprime la sua forza contro una superficie indeformabile.

I muscoli di un nuotatore sono morbidi, elastici e affusolati, per massimizzare l'idrodinamicità al fine di vincere la resistenza che l'acqua oppone. I nuotatori hanno inoltre un consumo massimo di ossigeno

inferiore a quello di un corridore o di un ciclista: questo significa che la potenza espressa da un nuotatore non eguaglia quella di un ciclista o di un corridore. Questo influenza anche le calorie consumate, che nel nuoto molto difficilmente superano le 600 all'ora. Il consumo di calorie del nuoto non è facile da calcolare. Nel nuoto il corpo è sospeso dalla forza di Archimede, in quanto è una massa immersa in un fluido.. Inoltre il nuotatore spende una buona parte delle calorie impiegate per galleggiare visto che un certo affondamento c'è a prescindere dalla spinta di Archimede. Altra caratteristica peculiare del nuoto è la tecnica: gli atleti esperti spendono solo una piccola frazione dell'energia per galleggiare, mentre la maggior parte dello sforzo è sfruttato per l'avanzamento; i nuotatori dotati di una tecnica scadente "sprecano" una buona parte delle calorie per il galleggiamento.

Il nuoto presenta molte interessanti caratteristiche dal punto di vista fisiologico e biomeccanico. La prima considerazione riguarda il galleggiamento il quale risulta dal fatto che il corpo riceve una spinta (detta Archimede) diretta dal basso verso l'alto, essendo la densità corporea inferiore a quella dell'acqua. La densità corporea rispecchia la componente grassa ed inoltre il fatto che i polmoni contengono aria. Le ossa hanno densità ovviamente superiore all'acqua, mentre i tessuti molto idratati, come i muscoli, hanno densità uguale all'acqua. La densità corporea delle donne è inferiore a quella degli uomini in virtù di una maggior percentuale di grasso, distribuito soprattutto a livello delle cosce e dei glutei. Questa disposizione del grasso conferisce al sesso femminile un maggior galleggiamento e anche un minor costo energetico, a parità di velocità, rispetto ai maschi. Il principale problema biomeccanico all'avanzamento in acqua è rappresentato dalla resistenza dinamica alla progressione; infatti questa resistenza è circa 800 volte superiore rispetto alla progressione in aria, il che rispecchia il fatto che la densità dell'acqua è circa 1000 volte superiore alla densità dell'aria. Conseguenza diretta della elevata resistenza all'avanzamento è l'elevato costo energetico e la bassa velocità massima raggiungibile rispetto ad altre forme di locomozione. Migliore è la tecnica di progressione, minore è il costo metabolico, mediamente del 20-40%. Quindi, un grande campione possiede una tecnica di progressione ottimale. Tuttavia questo non è il solo fattore. Infatti hanno grande importanza anche l'idrodinamicità del corpo e, come già accennato sopra, la densità corporea. Nelle donne il costo energetico, a parità di velocità di avanzamento è del 20% inferiore rispetto agli uomini; questi ultimi devono spendere energia per mantenere l'assetto orizzontale, in quanto la maggior densità corporea tenderebbe a creare un momento di forza che mette il corpo in posizione verticale.