

# *I transiti della stazione spaziale sul Sole e sulla Luna*

di Daniele Gasparri



I transiti di satelliti artificiali, soprattutto sul disco lunare, sono conosciuti ed osservati da ormai svariati anni. Negli ultimi tempi, grazie alla grande diffusione di informazioni liberamente accessibili (come ad esempio gli elementi orbitali di alcuni satelliti) e all'avvento di tecnologie che facilitano di la vita di ogni astrofilo (GPS, mappe dettagliate, camere digitali a basso costo) questa è diventata una vera e propria attività, ricca di sorprese ed emozioni proprie, che andremo a scoprire nelle pagine seguenti

Al lontano 2001 risale la prima fotografia del transito di una brillante ISS sul disco lunare; l'immagine è sfuocata e confusa ma gli anni seguenti avrebbero rappresentato un salto di qualità davvero notevole grazie alla tecnologia digitale e allo sviluppo di software in grado di prevedere con buona precisione tali eventi. Dopo neanche due anni dal primo tentativo (casuale), le nuove immagini che si presentano sono veramente sbalorditive; le riprese dell'astrofilo californiano Ed Morana sono le prime nelle quali si distinguono forma e principali strutture della stazione spaziale che si staglia nerissima sul luminoso sfondo lunare. Molti astrofili nel mondo sono riusciti nell'impresa, aumentando la risoluzione, fino alla migliore immagine attualmente disponibile, ottenuta dal francese Thierry Leagult che è riuscito a risolvere la stazione e lo space Shuttle Atlantis in transito sul Sole con una nitidezza eccezionale, che non ha niente da invidiare alle migliori riprese planetarie. Vale la pena citare le immagini dell'astrofilo greco Anthony Ayiomamitis e dello svizzero Roland Stalder, ma in questa speciale lista non compare nessun nome italiano: è giunto il momento di porre fine a questa mancanza.

## Qualche informazione utile

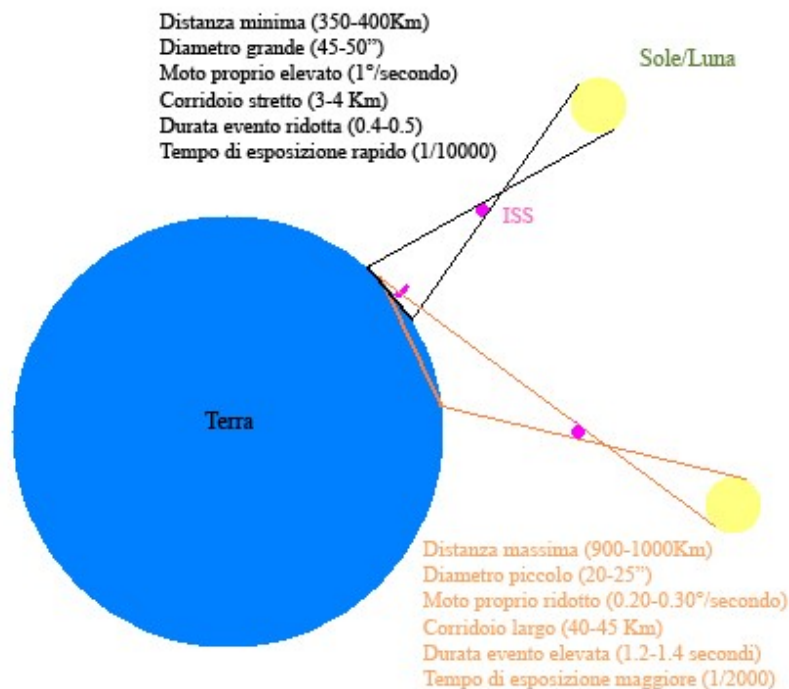
La stazione spaziale internazionale è stata messa in orbita nel novembre 1998 e da allora si è notevolmente ampliata, fino a raggiungere dimensioni massime di 73 metri. Essa è posta su un'orbita piuttosto bassa, con semiasse maggiore a 6770 Km dal centro della Terra, vale a dire a circa 360 Km sulla verticale alla tangente alla superficie terrestre, inclinata di  $51.6^\circ$  rispetto all'equatore e visibile dalla quasi totalità delle terre abitate, con un periodo orbitale di circa 92 minuti e un'eccentricità molto bassa. Con i dati in nostro possesso possiamo calcolare il suo diametro apparente: circa  $44''$ , che giunge a 50 quando la sua orbita si abbassa fino a 320-330 Km, cioè quanto il pianeta Giove in opposizione, e in linea di principio facilmente risolvibile con qualunque telescopio. L'osservazione telescopica è però compromessa dal suo grande moto apparente, che può superare  $1^\circ$  al secondo; una velocità e una traiettoria al di fuori della portata della quasi totalità dei moti orari delle montature amatoriali.

In prossimità del tramonto e dell'alba è possibile osservarla nei cieli come un astro dalla magnitudine spesso negativa sfrecciare a grande velocità fino a scomparire improvvisamente all'interno del cono d'ombra terrestre; questi sono gli unici momenti utili per osservarla illuminata dalla luce solare e non mancano immagini molto dettagliate di tali eventi che si verificano periodicamente ogni mese la sera o la mattina.

La probabilità che si verifichi un transito è chiaramente molto minore ma non troppo piccola, soprattutto se si è disposti a fare dei piccoli spostamenti attorno alla propria località, arrivando anche a 5-6 eventi al mese per una sfera dal raggio di 50Km attorno al proprio sito osservativo e in generale una media di 2-3 (sia lunari che solari) ogni mese.

Tutti i passaggi sono utili, anche quelli non visibili ad occhio nudo perché lo sfondo luminoso del Sole e della Luna rendono evidente e molto contrastata la sua sagoma oscura. In effetti questo è un vantaggio per gli astroimager che volessero provare a riprendere il transito con una buona risoluzione in quanto il suo contrasto è elevatissimo e basta un solo frame ottenuto con una webcam per avere un'immagine molto incisa con una risoluzione elevata.

La larghezza del corridoio utile è molto variabile e dipende dalla configurazione geometrica: si va da un minimo di 3.5 Km ad un massimo di 40-42 quando il transito avviene basso sull'orizzonte e lontano dal meridiano. Un corridoio largo aumenta la probabilità di osservazione dal proprio sito osservativo senza dover compiere spostamenti e una maggiore durata del fenomeno, ma allo stesso tempo è indice di altre difficoltà tipiche delle riprese planetarie: bassa altezza sull'orizzonte e piccolo diametro apparente della ISS. Considerando transiti oltre i  $25-30^\circ$  di altezza sull'orizzonte, non troppo lontani dal meridiano (+2 ore), un valore medio del corridoio che tenga conto anche della probabilità che esso possa avvenire nettamente sopra tale altezza è intorno ai 7-8 Km. La durata del fenomeno varia tra una frazione di secondo (0.40-0.50) e il secondo (con rari picchi di 2.4 secondi quando il transito avviene a declinazioni ampiamente negative e lontano dal meridiano, ma le condizioni di osservazione sono proibitive)



Configurazione geometrica ISS-osservatore-corpo occultato responsabile della variabilità di dati come larghezza del corridoio, moto apparente e durata. Un'altezza elevata sull'orizzonte significa maggiore diametro apparente, maggiore moto proprio, minore larghezza del corridoio. In questi casi è richiesta una precisione di posizionamento elevata, esposizioni molto rapide e una focale non oltre i 2-2.5 metri. Al contrario, un'altezza ridotta significa, in generale, minore moto apparente, maggiore larghezza del corridoio ma diametro angolare minore. In questo caso sono tollerabili dei piccoli errori di posizionamento; il tempo di esposizione per non avere mosso sale a 1/1000-1/2000 di secondo. Nella figura si sono considerati transiti in meridiano. Lontano da esso si ha un'ulteriore dilatazione dei tempi ma la ripresa in alta risoluzione è compromessa dalla turbolenza atmosferica. Come per le riprese planetarie, l'altezza minima per l'osservazione in alta risoluzione di un transito dovrebbe essere superiore a 25-30°

## Le previsioni:

Il transito dura spesso una frazione di secondo, il corridoio è molto stretto e per avere un'immagine in dettaglio occorre conoscere in quale zona del disco solare/lunare avverrà, per questo abbiamo bisogno di una precisione temporale dell'ordine del secondo e una spaziale inferiore a 200 metri. La parte delle previsioni è la più difficile da ottenere a causa della variabilità degli elementi orbitali della ISS.

La stazione spaziale infatti si trova su un'orbita molto bassa in piena ionosfera, una zona in cui la densità dell'atmosfera terrestre non è affatto trascurabile, riducendo lentamente la velocità con conseguente decadimento orbitale da 400 a 320 Km in 80 giorni (circa 200 metri al giorno). Per evitare quindi un brusco rientro in atmosfera, vengono periodicamente accesi i suoi motori per riportarla nell'orbita originaria. Il rigonfiamento equatoriale del globo terrestre provoca anche esso un decadimento orbitale e un effetto di precessione non trascurabile del suo piano orbitale verso ovest di poco più di 5° al giorno; anche il ciclo solare e la disposizione delle masse terrestri influiscono sull'orbita, sia pur in misura ridotta e su scale temporali maggiori. Tutte queste variabili, a cui vanno aggiunte manovre di docking con le navette in arrivo, provocano delle incertezze nel calcolo dei transiti che non possono essere eliminate a causa della variabilità (a volte molto rapida nel caso di accensione dei motori) degli elementi orbitali.

Previsioni veramente precise si possono fare due, massimo tre giorni prima dell'evento, mentre a 7-10 giorni è da fissare il limite per la determinazione di un transito, anche se le informazioni sull'ora

e il luogo restano ancora approssimate; oltre tale periodo gli elementi orbitali di solito non sono più validi e la precisione cala bruscamente. Oltre 15-30 giorni fare delle previsioni è solamente di utilità statistica.

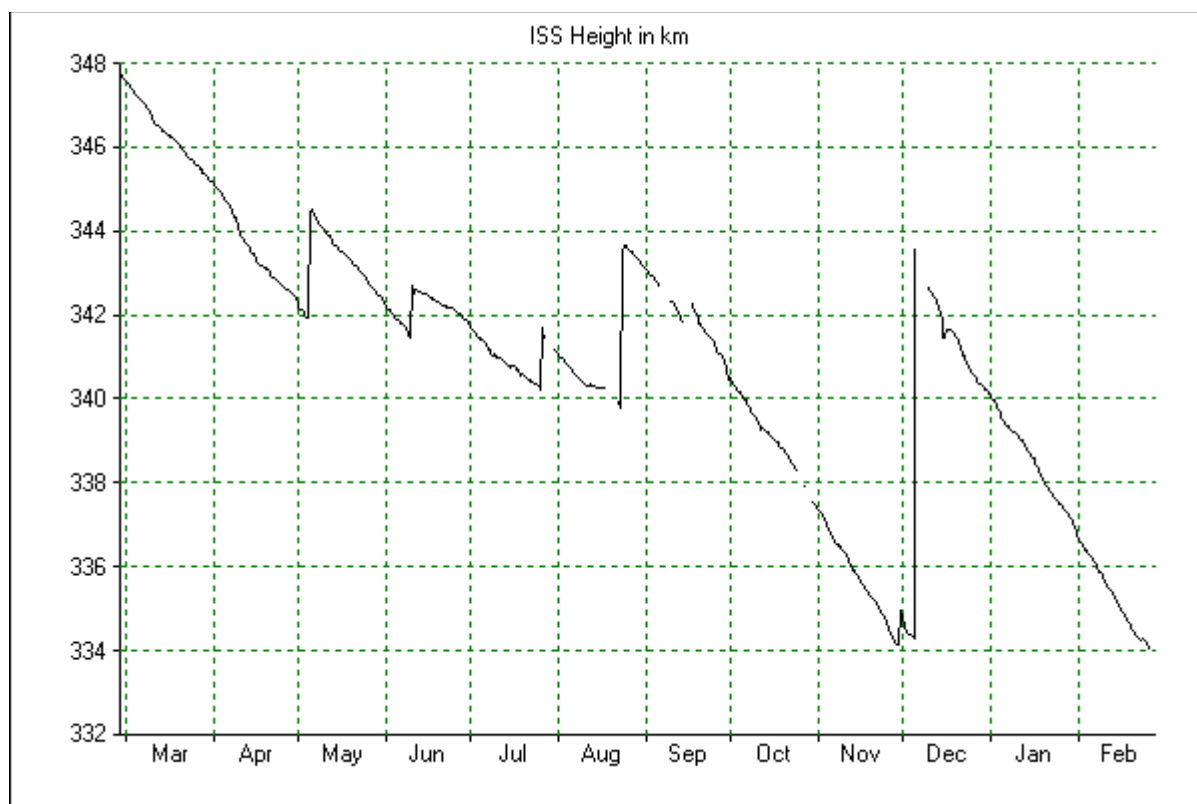


Grafico che rappresenta la variazione dell'altezza della ISS in funzione del tempo; come si vede la sua orbita è tutto fuorché stabile e periodicamente vengono accesi i suoi motori per compensare la sua lenta discesa nell'atmosfera terrestre

## Siti per la predizione

Il primo sito internet capace di prevedere tali eventi è a cura di Thomas Fly: <http://iss-transit.sourceforge.net/>; purtroppo esso non è più curato da svariati mesi e la precisione è stata nettamente sopravanzata da CalSky: <http://www.calsky.com>, più curato e completo che consente sia la possibilità di prevedere i transiti per una data località, sia di iscriversi ad un servizio di alert che provvede automaticamente ad informare di un probabile transito. Questo sito internet sarà d'ora in poi il nostro punto di riferimento.

Le informazioni sugli elementi orbitali della stazione internazionale sono aggiornate quasi in tempo reale e la validità dichiarata delle previsioni con tali set di informazioni (i dati della ISS come degli altri satelliti sono dati in formato TLE= two lines elements) si aggira intorno ai 10-15 giorni, oltre i quali non si hanno più garanzie. Per utilizzare il servizio bisogna iscriversi gratuitamente, inserire i dati della propria località, ed eventualmente il proprio indirizzo mail e configurare la sezione dedicata agli alert che non si limita solamente ai transiti della ISS.

Una volta individuato l'evento a voi favorevole, la cui attendibilità è regolata da un piccolo semaforo, potete avere diverse informazioni a riguardo.

Il link più interessante è "centerline" cliccando sul quale si accede ad una pagina in cui sono presenti tutte le informazioni del passaggio ad intervalli minimi di due decimi di secondo. Se non avete molta dimestichezza con questo formato di dati, sicuramente non facile da leggere, l'opzione di mostrare la linea centrale in google Earth è senza dubbio molto più efficace. Se vivete in un luogo montuoso, e comunque sopra i 250 metri di altitudine, è bene selezionare l'opzione che tenga

conto dell'elevazione della propria località, in quanto tutti i transiti sono calcolati al livello del mare. Nonostante la precisione dichiarata di circa 10-15 giorni, non è raro che eventi relativamente vicini nel tempo (una settimana) vengano modificati anche sensibilmente mano a mano che si avvicinano: per avere la certezza di dove e quando poter osservare è necessario aspettare almeno fino a 3-4 giorni prima.

Nell'uso del servizio ho notato qualche piccolo bug e approssimazione alle quali è bene prestare attenzione; ad esempio i dati immessi per il proprio sito osservativo possono cambiare dopo aver visualizzato le informazioni di un transitto vicino alla propria località, con effetto disastroso sulle previsioni future; è importante controllare sempre nel riquadro a destra che le coordinate siano quelle inserite al momento della registrazione.

Il programma calcola tutti i transiti teoricamente osservabili, ma in realtà non tutti lo sono, e comunque non in condizioni ottimali, come ad esempio i passaggi diurni sul disco lunare o in generale tutti quelli che avvengono bassi sull'orizzonte. La prima cosa da controllare è quindi l'ora e l'altezza.

La visualizzazione del corridoio all'interno di Google Earth non sempre è presente e da indicazioni solamente per la linea centrale; mancano riferimenti grafici per i confini del corridoio e le informazioni fornite non sempre coincidono con i dati tabulati, come per il diametro angolare della stazione, a volte errato. Essa è certamente utile dal punto di vista grafico ma è bene utilizzarla solamente dopo aver dato un'occhiata ai dati tabulati nelle tabelle all'interno del menu "centerline", in cui sono riportate tutte le informazioni utili. Le altre opzioni disponibili: closet point e map offrono rispettivamente una mappa del cielo centrata sul transitto e una mappa topografica per arrivare sul luogo; quest'ultima opzione, benché utile, si rivela piuttosto approssimativa: la linea centrale scompare e solo un punto rosso ci indica la destinazione; meglio utilizzare Google Earth e la funzione percorso.

Displaying content from [www.calsky.com](http://www.calsky.com)  
View on Google Earth

Il contenuto visualizzato su questa mappa è fornito da terzi e Google non ne è responsabile.

**Contenuti**

- ISS transits Sun on 14.Mar.2007  
Path of intersection of the line Sun-ISS on the earth surface with ellipsoidal altitude of 106 Meter (WGS84). The path will be shifted for other altitudes. (c)www.calsky.com, only for private use.
- Time tags and additional data (in timezone selected at runtime)
- Path of shadow of ISS as casted by Sun starting at 13h45m20.20s/14.Mar.2007
- [www.calsky.com](http://www.calsky.com)  
Visit our Homepage at [www.calsky.com](http://www.calsky.com)

Il contenuto visualizzato su questa mappa è fornito da terzi e Google non ne è responsabile.

**13h45m21.00s**  
CalSKY-Details: 14.Mar.2007 13h45m21.00s: ISS in front of Sun. Transit-Duration: 0.66s, path width: 8.20km. Diameter of ISS: 130.54"

Cerca nelle vicinanze

La sequenza dei dischetti verdi indica il corridoio da cui sarà osservabile il transitto e ognuno di questi è cliccabile per avere ulteriori informazioni. È da notare come il diametro angolare della ISS (130,54") sia sbagliato; una dimensione di 2' significa una distanza inferiore a 150 km. Per avere informazioni su come raggiungere la destinazione basta cliccare sul proprio sito osservativo ed impostarlo come punto di partenza; successivamente si clicca su uno dei punti di transitto e si imposta come punto di arrivo: il programma a questo punto vi mostrerà l'itinerario da seguire con una buona precisione. Come detto nell'articolo, tali previsioni hanno però una durata molto limitata e devono essere ricontrollate fino a poche ore prima di muoversi alla ricerca del sito più favorevole.

## Parte la caccia.

E' arrivato il momento di scendere in campo; la prima cosa da fare è tenere sempre sotto controllo i dati dell'evento di vostro interesse fino a poche ore prima, perché le sorprese possono sempre capitare.

Quasi sicuramente dovrete compiere degli spostamenti rispetto al vostro sito osservativo, alla ricerca della zona di centralità o comunque nei suoi immediati paraggi.

Se avete intenzione di effettuare osservazioni ad alta risoluzione dovrete scegliere un evento a voi favorevole, cioè che si verifichi alto sull'orizzonte in prossimità del meridiano, momento in cui il diametro angolare della stazione spaziale è maggiore e la turbolenza minore.

L'attrezzatura necessaria è prima di tutto una buona mappa o meglio ancora un buon GPS che consente di raggiungere la destinazione scelta con una precisione ottima e allo stesso tempo fornisce il segnale per sincronizzare il vostro orologio. Per seguire il fenomeno è sconsigliabile osservare direttamente all'oculare perché di durata troppo breve, piuttosto è una buona occasione per riprendere, utilizzando un supporto che permetta di ottenere molti scatti in un piccolo intervallo di tempo, come una webcam o in generale una camera digitale per le riprese planetarie. Ogni strumento può essere utilizzato per i transiti lunari, mentre per quelli solari, oltre ad un buon filtro solare da porre davanti all'obiettivo, un rifrattore acromatico di 13-15 cm può aiutare a ridurre la turbolenza tipica del giorno, equipaggiato con un filtro giallo e IR-cut per eliminare il residuo di cromatismo.

Per ottenere immagini in alta risoluzione dell'evento è consigliabile porsi più vicino possibile alla linea di centralità, l'unico luogo in cui sappiamo esattamente in che parte del disco lunare/solare avverrà il transito, ed è necessario saper leggere ed interpretare correttamente dati come durata, diametro e moto proprio, tutti tra loro collegati. Un transito alto sull'orizzonte, a circa  $60^\circ$ , significa maggiore vicinanza della ISS e quindi dimensioni angolari maggiori ( $45-50''$ ) ma allo stesso tempo un diametro del corridoio estremamente piccolo (4-5Km), un moto proprio maggiore e quindi una durata massima spesso inferiore al mezzo secondo, con grandi difficoltà per le riprese in alta risoluzione. Un transito che avviene basso sull'orizzonte, a circa  $17-20^\circ$ , è indice di grande distanza della ISS dall'osservatore e porta ad un diametro angolare ridotto ( $20-25''$ ) ma ad una larghezza del corridoio superiore a 40 Km e una durata di oltre 1 secondo, causata dalla minore velocità angolare. Prendendo in esame condizioni medie e favorevoli per l'osservazione, possiamo considerare un diametro di circa  $40''$  e durata intorno a 0.7 secondi: abbiamo a che fare con un oggetto grande, molto contrastato ma dal grandissimo moto proprio.

L'aspetto più importante riguarda di conseguenza l'ingrandimento (cioè la focale) e la luminosità dello strumento. Si potrebbe pensare di utilizzare una focale lunga, tipica di quelle che si usano per riprendere i pianeti, ma questo comporta 2 grandi svantaggi:

- 1) campo apparente troppo piccolo. Se la previsione o la posizione di osservazione comportano errori di poche centinaia di metri, c'è il rischio molto alto di non riuscire a riprendere il transito. Siccome è probabile che l'errore medio commesso sia intorno ai 200-250 metri (combinazione tra l'errore di posizionamento, errore nelle coordinate di mappe e/o GPS e del software di predizione), occorre un campo che consenta di compensare tale errore, e cioè almeno di 5-6 minuti d'arco.
- 2) Una lunga focale comporta una riduzione della luminosità dello strumento e un tempo di esposizione maggiore, con il rischio di mosso. Alla velocità massima di  $1^\circ/\text{secondo}$  e comunque molto raramente al di sotto di  $30'/\text{s}$ , un'esposizione di  $1/500$  di secondo provoca un mosso variabile tra 3 e  $7''$ : troppo. Bisogna esporre per un tempo minore, accorciando la focale o in alternativa utilizzando una camera con sensibilità maggiore.

Per i transiti lunari e riprese in alta risoluzione è preferibile utilizzare strumenti a specchio dal diametro di almeno 20 cm, ed operare senza l'uso di filtri, per avere più luce possibile. Uno strumento da 23 cm aperto a  $f6.3$  permette esposizioni di  $1/1000$  di secondo, un valore già buono, ma che non consente di avere risoluzioni migliori di  $2-3''$  in condizioni medie. Chi dispone di

camere più sensibili e/o strumenti più luminosi è sicuramente avvantaggiato e dovrebbe usare il tempo di esposizione più breve che permetta di catturare il disco lunare mantenendo un valore di ADU attorno a 180-200. Le camere CCD per astronomia sono sicuramente più sensibili ma non consentono di riprendere molte immagini per secondo e sono quindi da scartare completamente. Per quanto riguarda il transito sul disco solare, la risoluzione può essere notevolmente incrementata perché di luce ce n'è in abbondanza, e non è un caso che le migliori immagini siano state ottenute proprio in queste circostanze. Un'ottima soluzione è l'utilizzo di un filtro solare fotografico, come il Baader astrosolar di densità 3.8 che lascia passare più luce rispetto al classico astrosolar per le osservazioni visuali e consente di lavorare con tempi di esposizione molto brevi e rapporti focale più chiusi (f10 o più). Se la luce che entra nel sensore della webcam è troppa anche utilizzando il minimo tempo di esposizione (1/10000 di secondo) potete provare ad utilizzare filtri aggiuntivi, come un IR-cut, per avere una luminosità tale da permettere scatti intorno a 1/5000, meglio 1/10000. In questo caso la turbolenza atmosferica è molto ridotta e la risoluzione raggiungibile è notevole, con un mosso massimo inferiore al mezzo secondo d'arco, impossibile da notare. Questo filtro tuttavia non deve essere utilizzato per osservazioni visuali ma solamente per le riprese. La parte più difficile riguarda il numero di immagini al secondo da riprendere, anche esso influenzato non poco dalla focale utilizzata e dai dati del transito. Con un campo inquadrato dalla diagonale del sensore di 6 minuti d'arco, il passaggio della ISS (supposto avvenire lungo la diagonale) avviene in 1/5-1/10 di secondo. Riprendendo a 5 o 10 fotogrammi al secondo si ha il rischio di non riuscire ad immortalare l'evento o di avere un'unica immagine ai bordi del campo. L'alternativa è aumentare il framerate e portarlo almeno a 15, limite superiore per le webcam; in questo caso siamo sicuri che almeno due fotogrammi contengano la stazione spaziale in transito. Considerando anche questo importante punto, è necessario avere un campo non inferiore a 8-10 minuti d'arco (in diagonale) e cioè non lavorare con focali oltre i 2-2.5 metri usando le classiche webcam da 640x480 e pixel da 5.6 micron. Una camera con un sensore di dimensioni maggiori porta sicuramente un notevole vantaggio, consentendo di aumentare la focale e tenere costante il campo inquadrato. Se si ha a disposizione una macchina fotografica reflex con controllo remoto, capace di scattare almeno 2 fotogrammi al secondo, si può considerare l'alternativa di avere tutto il disco solare nel campo inquadrato, mantenendo allo stesso tempo alta la risoluzione. Cercate di trovarvi sul posto con almeno un'ora di anticipo, per prepararvi con la giusta calma. E' importante inserire la webcam, centrare la zona in cui dovrebbe avvenire il transito e provvedere a focheggiare con precisione; se siete in pieno giorno, ripetete questa operazione almeno un paio di volte fino a 5 minuti prima, perché il calore del Sole può far dilatare le componenti del telescopio spostando il punto di messa a fuoco. Questa dovrebbe essere l'ultima operazione da compiere; non cercate di fare qualcosa pochi istanti prima e non fatevi prendere da dubbi. Cominciate a riprendere con un minuto di anticipo e state attenti ad osservare il passaggio della ISS; esso è piuttosto rapido e potrebbe non essere visto, ma sicuramente sarà catturato dalla vostra webcam. Se non siete riusciti a vedere il passaggio sul monitor del vostro PC, continuate a riprendere per almeno un minuto dopo la previsione e vedrete che il successo è garantito

### **Considerazioni finali**

Questa attività è sicuramente molto affascinante soprattutto perché diversa da tutte le altre osservazioni. Sono richieste nozioni di riprese in alta risoluzione ma soprattutto un certo spirito di avventura che ci spinge a dare la caccia, muniti di GPS, a questi particolari fenomeni. Se manca la voglia di spostarsi, le probabilità di osservare un transito comodamente dalla propria casa sono ridotte (1 ogni 1-2 mesi e limitate a transiti bassi sull'orizzonte). L'uso di un GPS è fondamentale quando ci si deve spostare, soprattutto di notte. Se avete un PDA ma non disponete di un software di navigazione, potrete scaricare gratuitamente la nuovissima versione di google maps per windows mobile, che permette di avere tutto il mondo in mano con la comodità della navigazione satellitare.



Con la **foto in alto** siamo invece arrivati allo stato dell'arte della categoria: la ripresa di **Morana** mostra una ISS perfettamente risolta in tutti i particolari mentre sorvola la Luna il 13 febbraio 2006.

**In basso.** L'ultimo grido in fatto di transiti sul Sole è invece stato ottenuto il 17 settembre 2006 dal francese **Thierry Legault**, che con un singolo scatto di una Canon 5D al fuoco di un rifrattore Takahashi TOA-150 (150/2300) è riuscito a catturare l'immagine della ISS 50 minuti dopo il distacco dello Shuttle Atlantis (1/8000 di secondo a 50 ISO). In quell'occasione il transitò sul disco durò 0,6 secondi, con un corridoio largo circa 7,4 Km.

