



**Sommario**

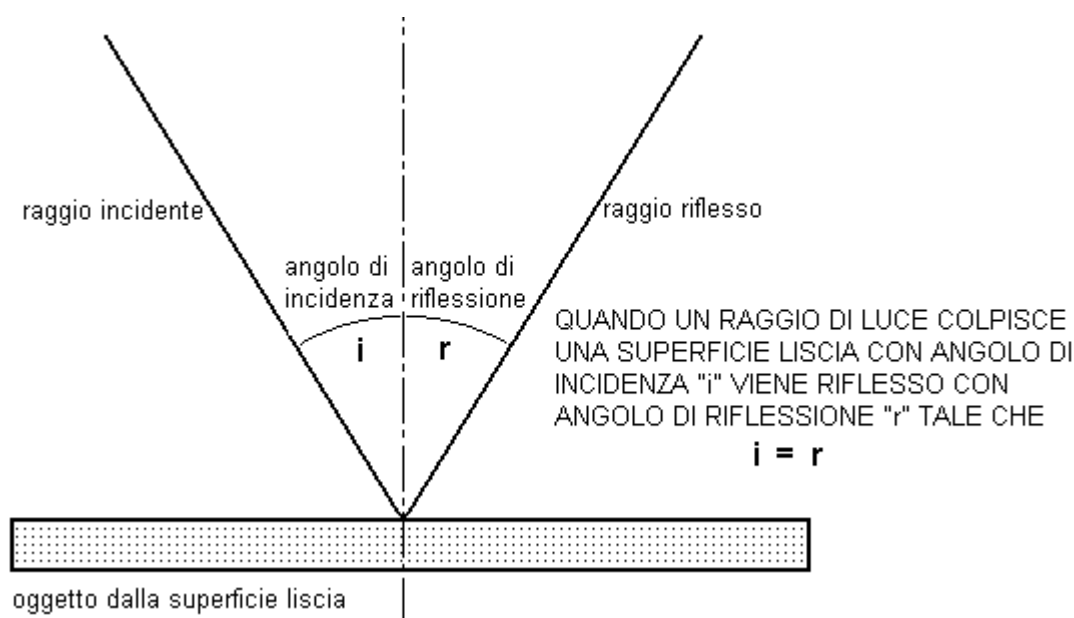
Leggi della riflessione .....2  
Specchi piani.....3  
Specchi sferici.....6  
Lunghezza focale di specchi sferici .....9  
Immagine generata da specchi sferici .....11  
Ingrandimento generato da specchi sferici .....15  
Potenza degli specchi sferici .....17

## Leggi della riflessione

---

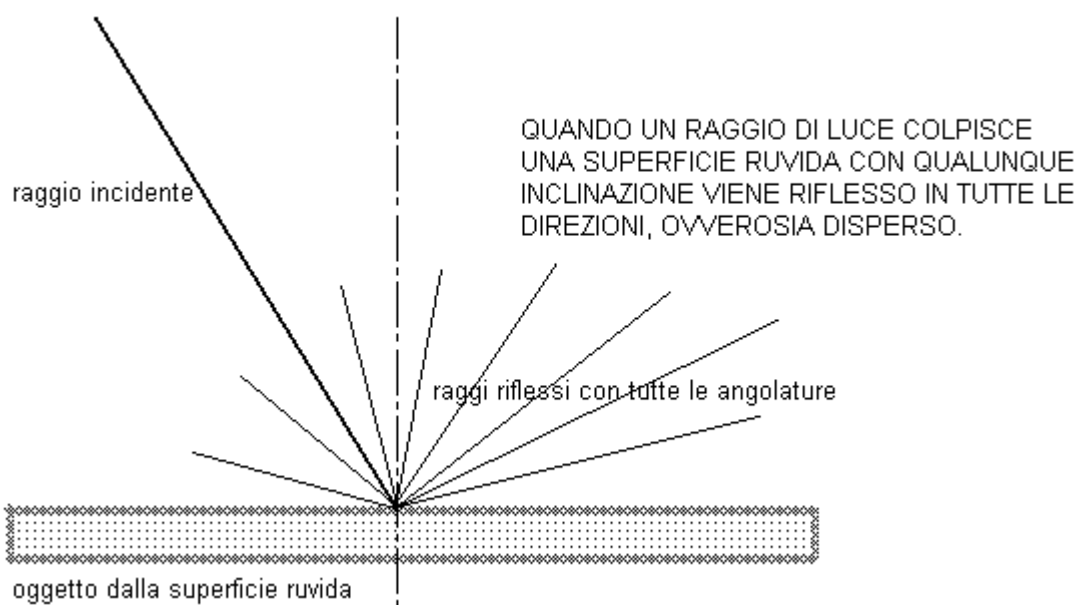
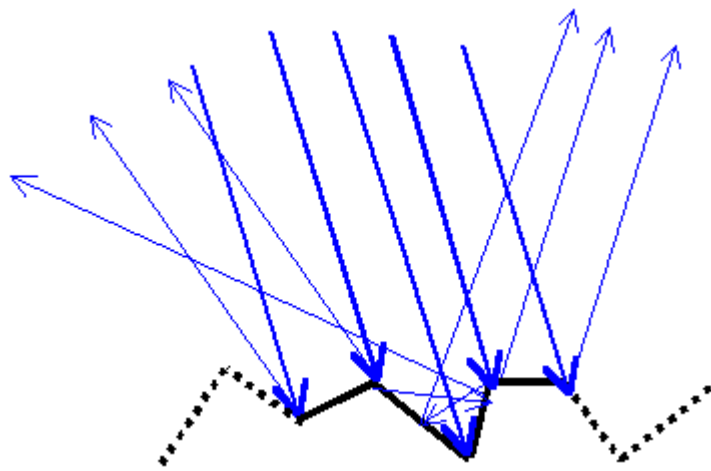
Un raggio luminoso che incontra una superficie viene riflesso secondo le seguenti leggi:

- il raggio incidente, il raggio riflesso e la normale alla superficie riflettente nel punto di incidenza sono complanari,
- l'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione, calcolati rispetto alla normale, sono uguali.



Queste leggi permettono di spiegare il comportamento delle superfici riflettenti come gli specchi, siano essi piani o di tipo curvo (normalmente sferico) con profilo concavo o convesso.

Nel caso di superfici riflettenti diffondenti, valgono ancora le suddette leggi, ma la direzione di riflessione non è univoca per tutti i fotoni che compongono il raggio luminoso, in quanto dipende dall'orientamento della superficie nel punto di incidenza di ciascun fotone.

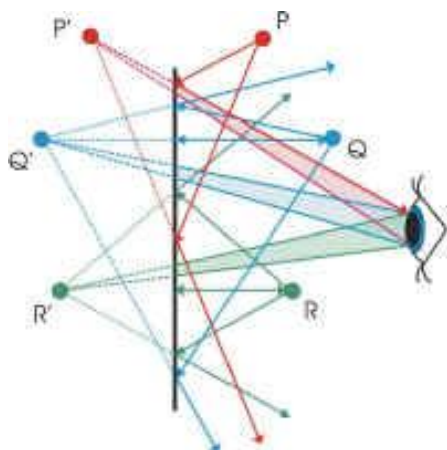


Le superfici sulle quali si verifica esclusivamente la riflessione speculare, senza che la luce sia trasmessa ad un secondo mezzo ottico, vengono definite **specchi o superfici catottriche**.

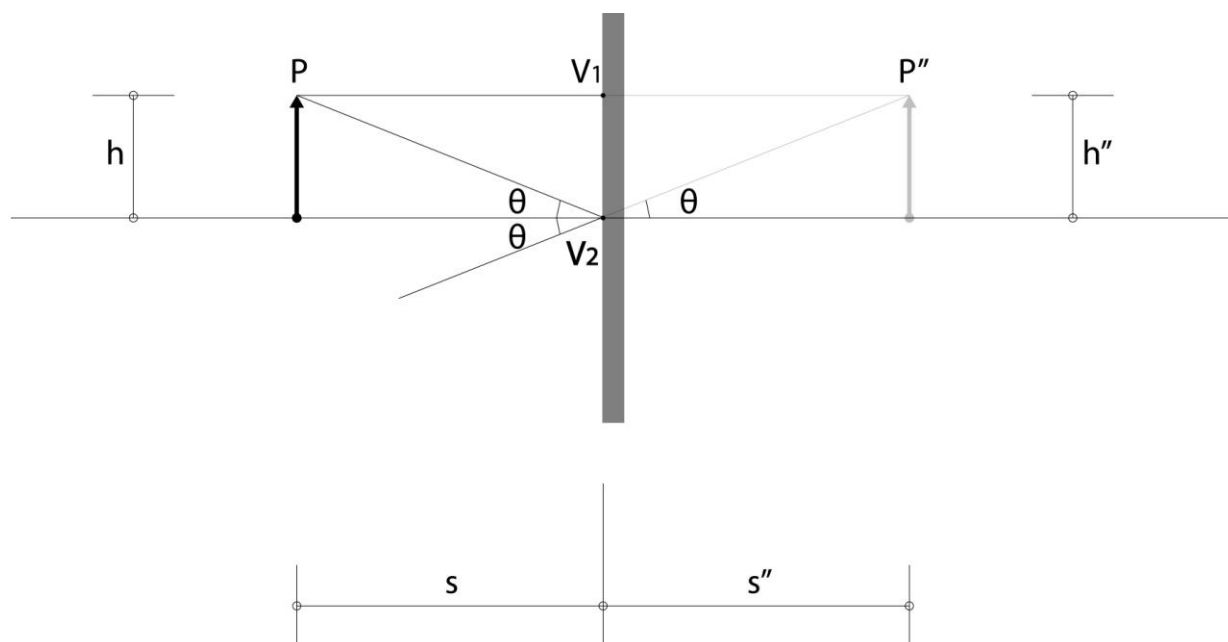
## Specchi piani

---

L'occhio percepisce l'immagine come se si trovasse effettivamente dietro lo specchio, mentre in realtà è davanti.



In questo caso, l'immagine è virtuale, essendo ricostruita dalla convergenza dei prolungamenti dei raggi dietro lo specchio. Si consideri lo schema ottico seguente relativo alla riflessione su una superficie piana speculare:



dove:  $s$  = distanza dell'oggetto dalla superficie speculare  
 $s''$  = distanza dell'immagine dalla superficie speculare  
 $h$  = dimensione del soggetto  
 $h''$  = dimensione dell'immagine.

Poiché i due triangoli  $PV_1V_2$  e  $P''V_1V_2$  sono uguali, si ha:

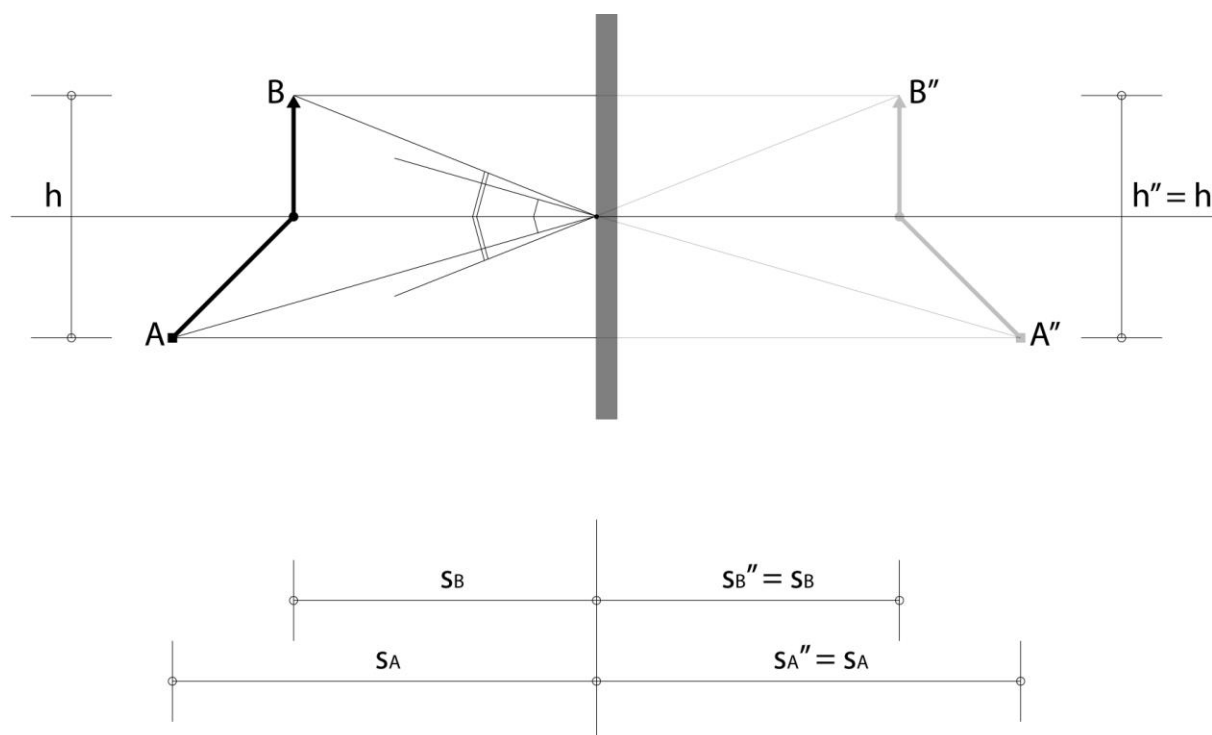
$s = s''$

e

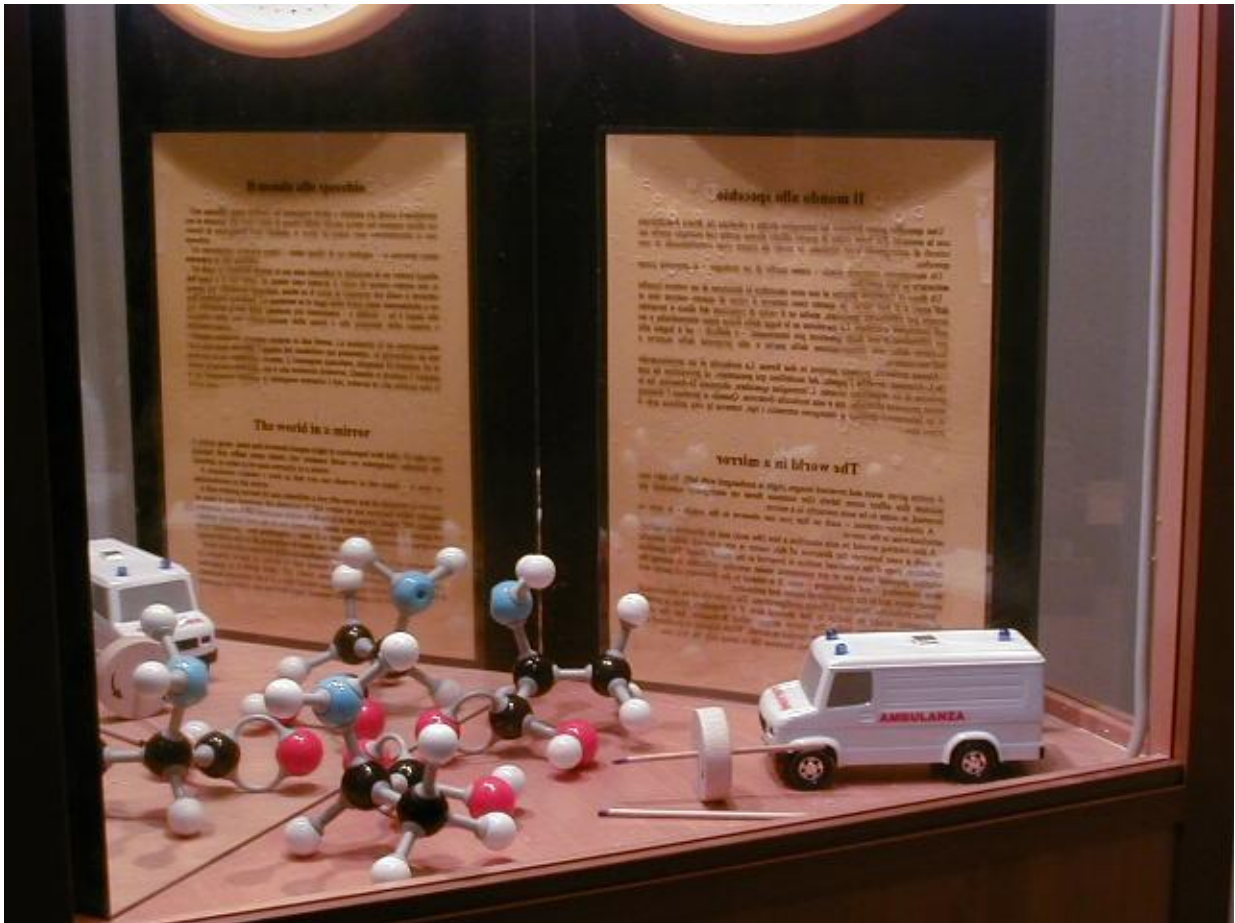
$$h = h''$$

In sintesi, uno specchio piano genera un'immagine virtuale alla stessa distanza del soggetto rispetto alla superficie riflettente e con le stesse dimensioni trasversali del soggetto, cioè senza ingrandimento o riduzione. Ad esempio, questo spiega perché, osservandosi allo specchio, la propria immagine sembra trovarsi ad una distanza doppia rispetto a quella della superficie riflettente.

Più in generale, con soggetti complessi:



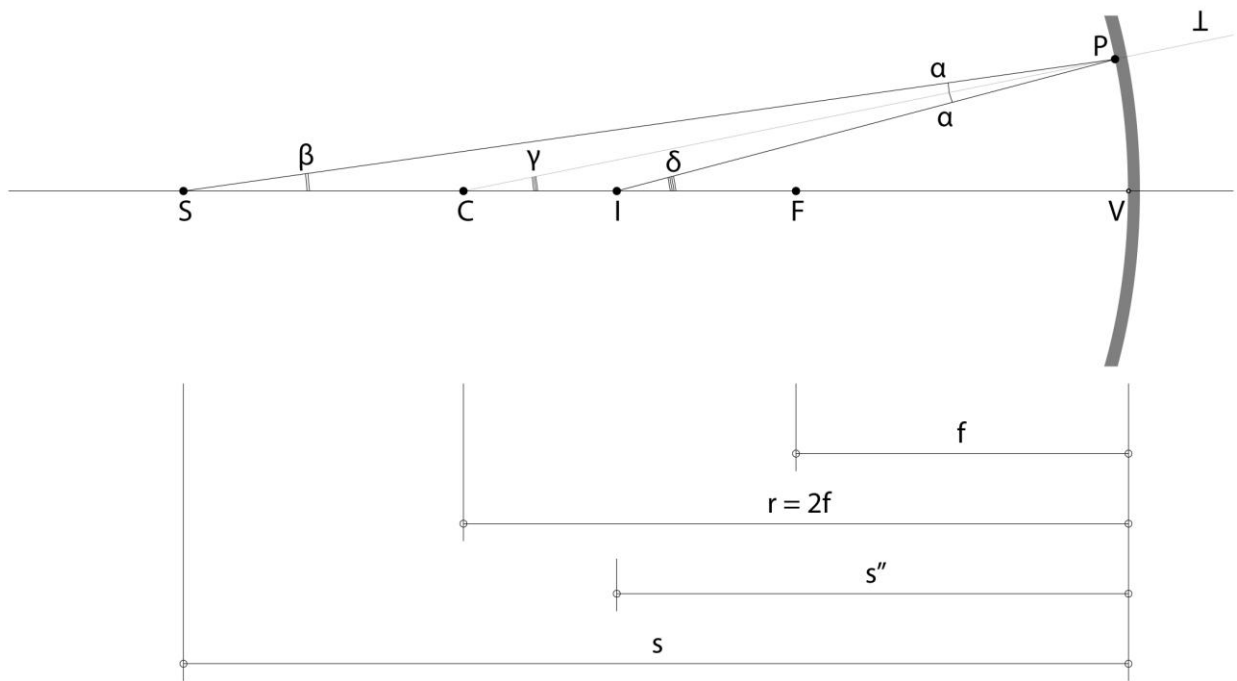
Un'altra particolarità dello specchio piano è quella di invertire la destra con la sinistra.



## Specchi sferici

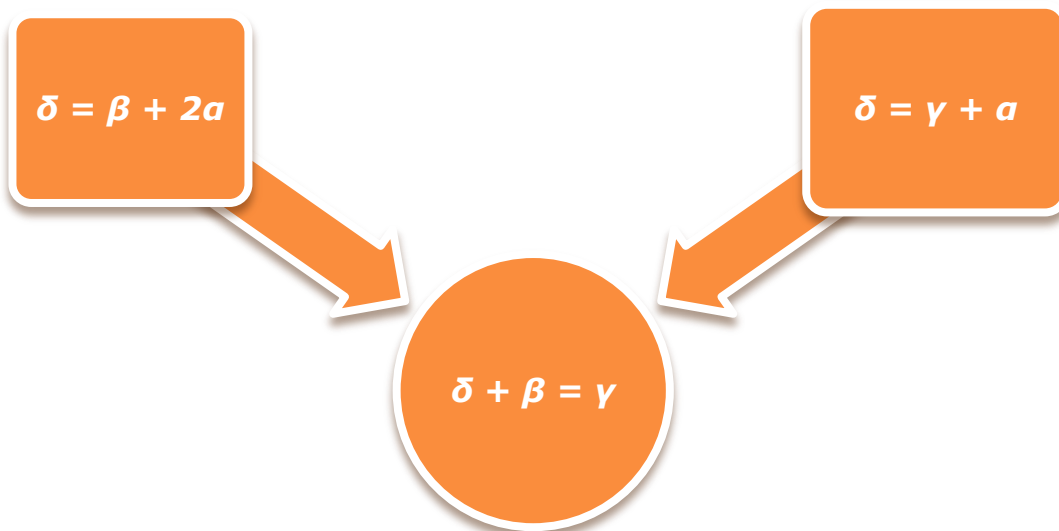
---

Si consideri uno specchio concavo, costituito da una calotta sferica di raggio  $r$  e centro  $C$ , ed un soggetto  $S$  (ad esempio, una sorgente luminosa), posto lungo l'asse ottico alla distanza  $s$  dal vertice  $V$ .



Osservando la figura, si vede che un primo raggio, uscente dal soggetto con angolo  $\beta$  rispetto all'asse ottico e riflesso in P, passa per I. Un secondo raggio, che viaggia lungo l'asse ottico, è riflesso all'indietro dallo specchio ed interseca il primo raggio in I, alla distanza  $s''$  dal  $\delta$  vertice.

Si può quindi affermare che in I si forma l'immagine di S, **immagine reale** in quanto la luce passa realmente per I. Qualunque altro raggio proveniente da S e riflesso dallo specchio passerà per I. Ricordando che un angolo esterno ad un triangolo è uguale alla somma degli angoli interni non adiacenti dello stesso triangolo, si può scrivere:



Ricordando che la lunghezza di un arco di circonferenza è pari al raggio moltiplicato l'angolo espresso in radianti purchè l'angolo sia abbastanza piccolo, si avrà con buona approssimazione:

$$\beta = VP/VS = VP/s$$

$$\gamma = VP/VC = VP/r$$

$$\delta = VP/VI = VP/s''$$

Sostituendo questi valori nella relazione derivata, si ottiene:

$$VP/s + VP/s'' = 2 (VP/r)$$

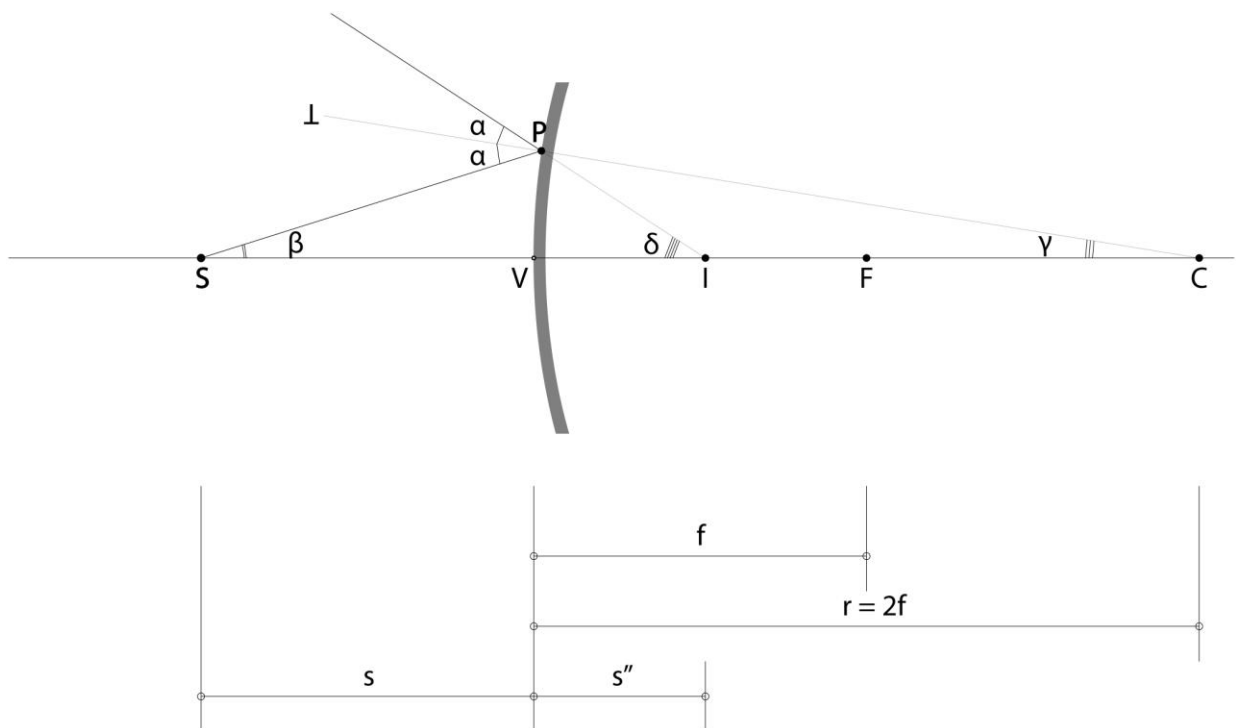


$$1/s + 1/s'' = 2/r$$

Purchè si considerino angoli piccoli, la relazione che lega le distanze coniugate al raggio di curvatura ed alla lunghezza focale è valida qualunque sia la posizione del soggetto rispetto allo specchio e permette di trovare le posizioni reciproche del soggetto e dell'immagine. Convenzionalmente si attribuiscono valori positivi a tutte le distanze dei soggetti che si trovano **davanti allo specchio (spazio reale)**, mentre si assegnano segni negativi alle distanze dei soggetti che si trovano apparentemente **dietro lo specchio (spazio virtuale)**.



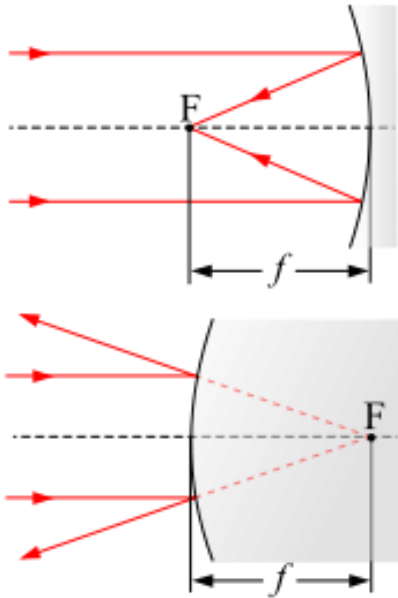
Per uno specchio sferico convesso, le relazioni sono identiche purchè si tenga conto della suddetta convenzione sui segni.



Come si può vedere, l'immagine di S che si forma in I è un'**immagine virtuale**, in quanto ottenuta unicamente prolungando all'indietro le direzioni dei raggi riflessi.

## Lunghezza focale di specchi sferici

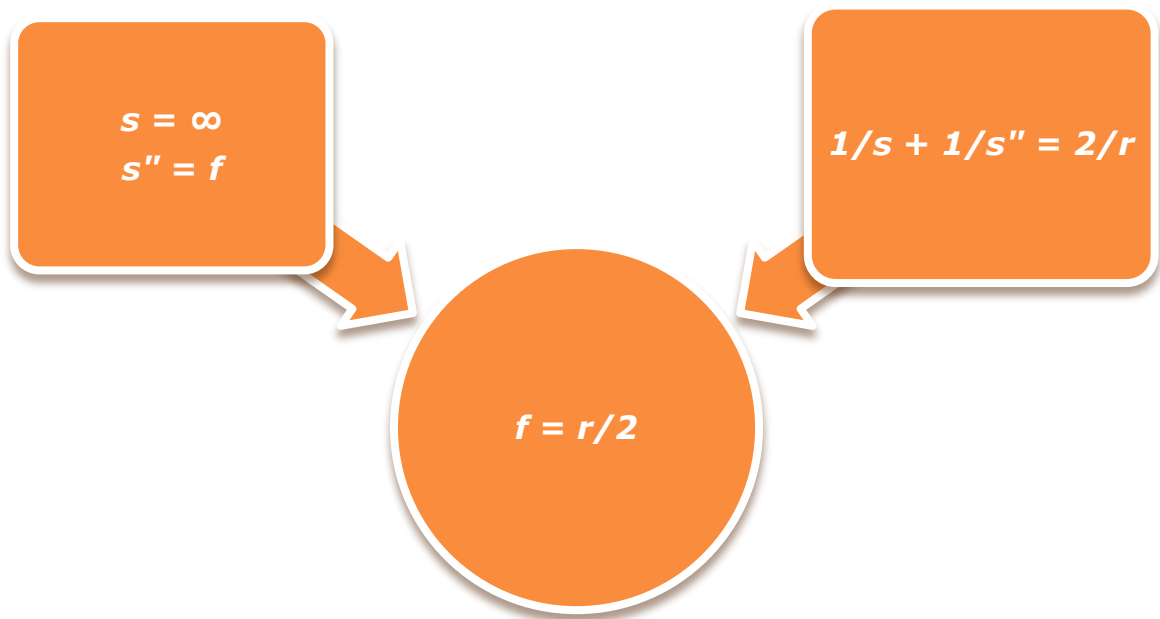
Se il soggetto è situato a distanza infinita, i raggi arriveranno sullo specchio con direzione praticamente parallela all'asse ottico. Tutti i raggi paralleli convergeranno in un punto che viene comunemente definito **fuoco (F)**, posto ad una distanza dallo specchio denominata **distanza focale (f)**.



Le relazioni con gli altri parametri sono definibili partendo semplicemente dall'equazione fondamentale degli specchi sferici:

$$1/s + 1/s'' = 2/r$$

Se la distanza coniugata  $s$  tende all'infinito, si ottiene:



Si può quindi scrivere l'equazione fondamentale degli specchi nella sua più usuale forma:

$$1/s + 1/s'' = 1/f$$

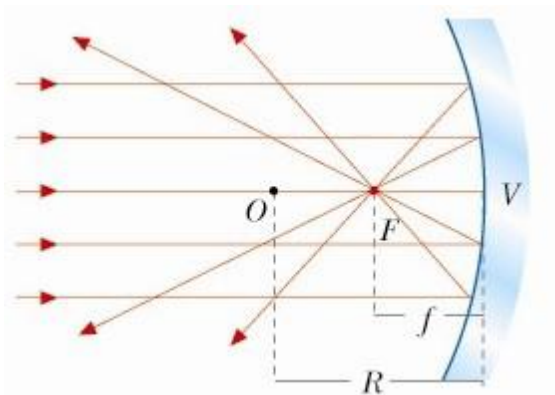
Naturalmente anche per la lunghezza focale vale la precedente convenzione dei segni, per cui risulterà positiva per specchi concavi e negativa per specchi convessi.

## Immagine generata da specchi sferici

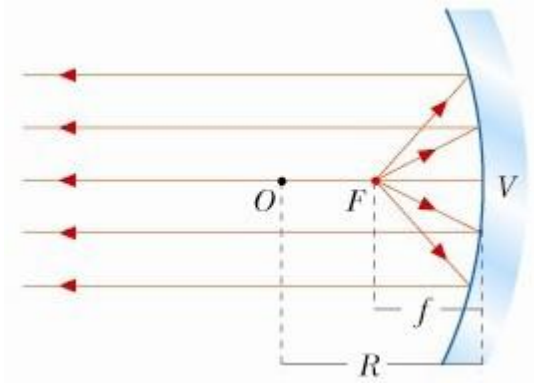
Se il soggetto non è puntiforme, ma ha una certa estensione spaziale, occorre considerare ogni suo punto costituente come se fosse una sorgente separata; di conseguenza, la sua immagine sarà data dalla ricostruzione punto per punto.

Per la ricostruzione del soggetto, è sufficiente tracciare il percorso di due raggi dipartenti da ognuno dei punti sorgente: il punto di convergenza delle loro direzioni costituirà l'immagine. I percorsi più facilmente utilizzabili sono essenzialmente quattro:

- raggio passante per il centro di curvatura, riflesso nella stessa direzione incidendo perpendicolarmente allo specchio (questo raggio può risultare inutilizzabile se il diametro dello specchio è ridotto),
- raggio parallelo all'asse ottico, riflesso con direzione passante per il fuoco,



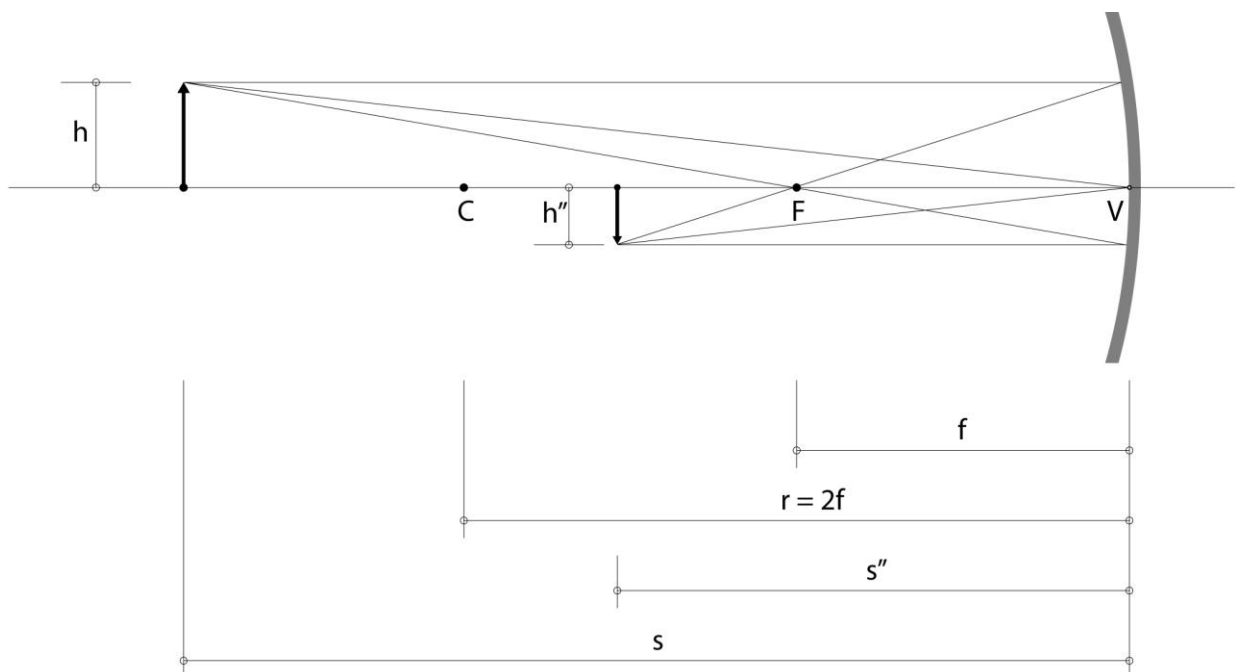
- raggio passante per il fuoco, riflesso in direzione parallela all'asse ottico per il **principio di reversibilità del percorso ottico**,



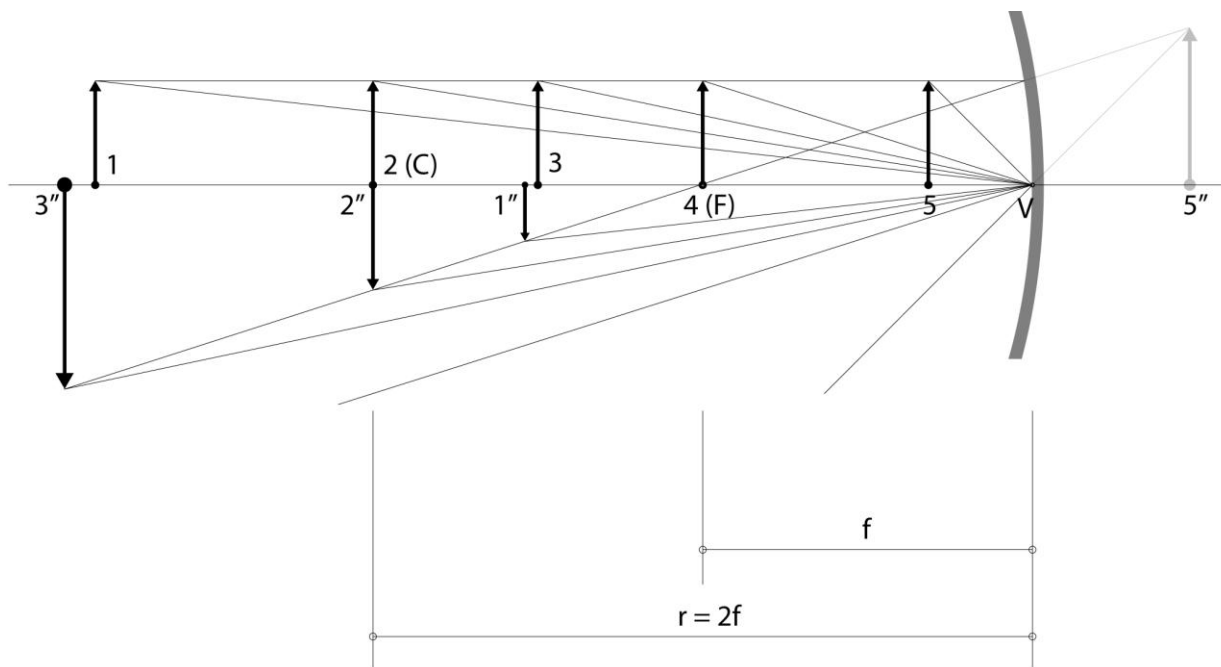
- raggio incidente nel vertice, riflesso simmetricamente rispetto all'asse ottico che è normale alla superficie dello specchio.

**Specchio concavo  
(convergente)**

La ricostruzione dell'immagine del soggetto è la seguente:



La distanza, la dimensione e la tipologia dell'immagine dipendono dalla posizione (distanza) del soggetto rispetto alla superficie riflettente. A questo proposito, si consideri il seguente schema ottico:



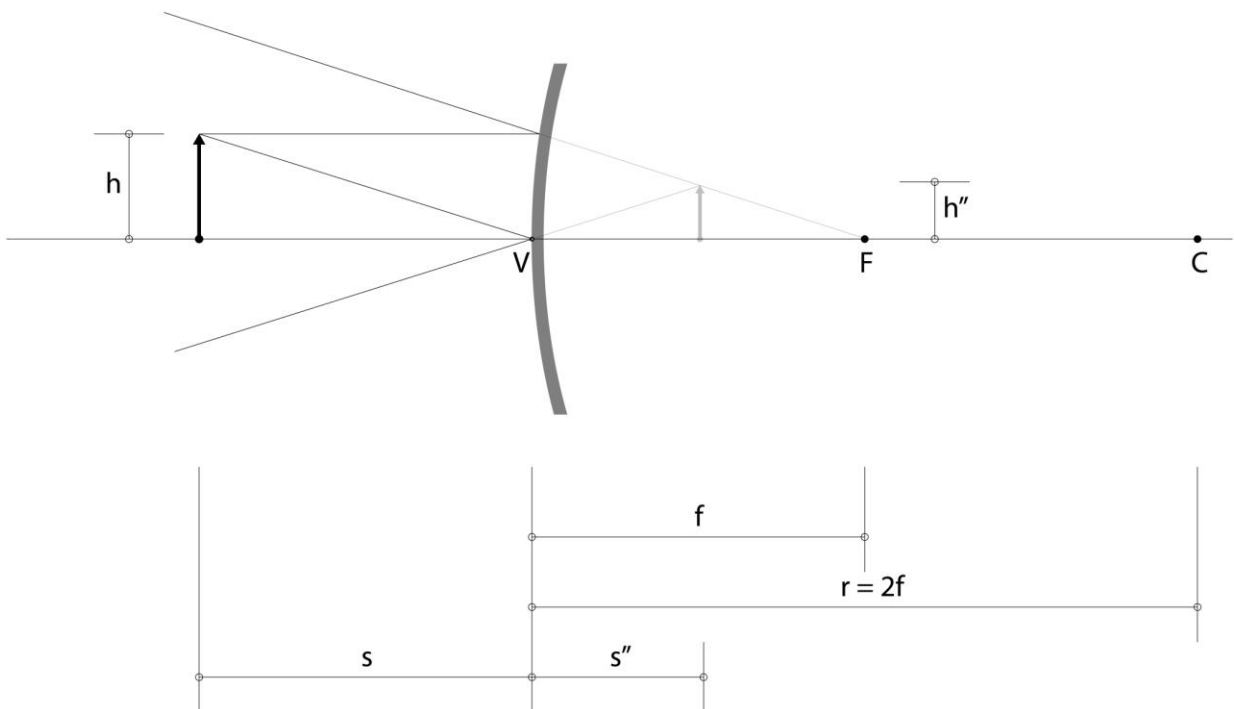
Si riscontrano cinque situazioni tipiche:

- 1) il soggetto è posto oltre il centro di curvatura dello specchio, con l'immagine (1") che si forma tra il centro di curvatura ed il fuoco ed è reale, capovolta e rimpicciolita;
- 2) il soggetto è posto in corrispondenza del centro di curvatura dello specchio, con l'immagine (2") che si forma a sua volta in corrispondenza del centro di curvatura ed è reale, capovolta e di uguali dimensioni;
- 3) il soggetto è posto tra il centro di curvatura ed il fuoco dello specchio, con l'immagine (3") che si forma oltre il centro di curvatura ed è reale, capovolta ed ingrandita;
- 4) il soggetto è posto in corrispondenza del fuoco dello specchio, con l'immagine che non può formarsi poiché i raggi sono riflessi tra loro paralleli;
- 5) il soggetto è posto tra il fuoco ed il vertice dello specchio, con l'immagine (5") che si forma posteriormente ed è virtuale, diritta ed ingrandita.

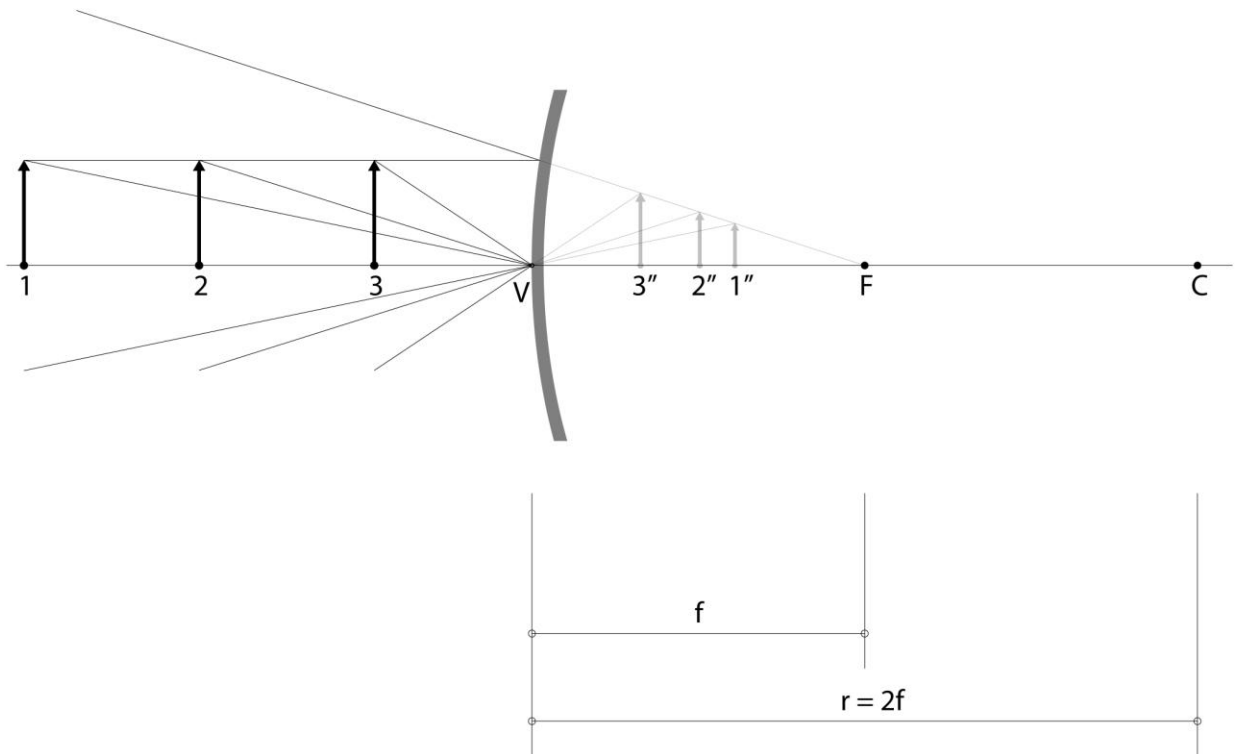
**All'avvicinarsi del soggetto, l'immagine si allontana e si ingrandisce. Ma lo specchio convergente è in grado di fornire un'immagine reale soltanto se il soggetto è a distanza superiore a quella del fuoco.**

**Specchio convesso  
(divergente)**

La ricostruzione dell'immagine del soggetto è la seguente:



La distanza, la dimensione e la tipologia dell'immagine dipendono dalla posizione (distanza) del soggetto rispetto alla superficie riflettente. A questo proposito, si consideri il seguente schema ottico:



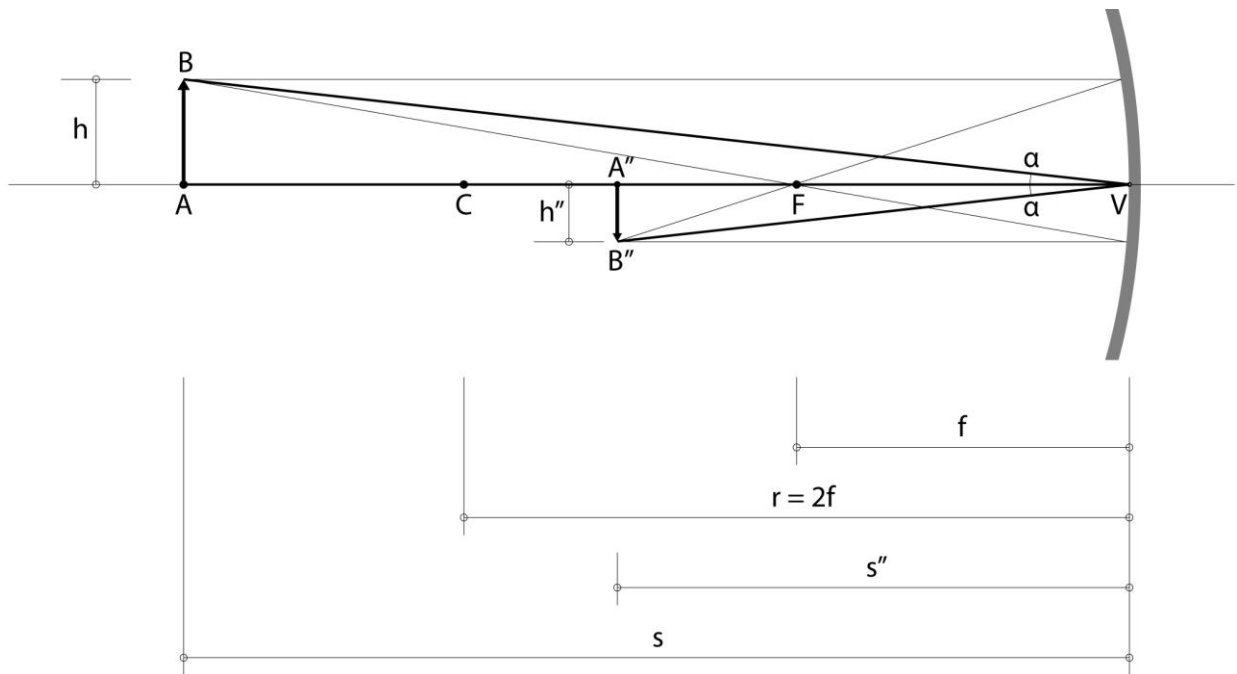
In questo caso, si riscontra un'unica situazione tipica:

- 1) il soggetto è posto davanti allo specchio, con l'immagine (1'', 2'', 3'') che si forma posteriormente ed è virtuale, diritta e rimpicciolita.

***All'avvicinarsi del soggetto, l'immagine si avvicina e si ingrandisce, ma rimanendo sempre virtuale e con dimensioni inferiori a quelle del soggetto.***

## Ingrandimento generato da specchi sferici

Analizzando il seguente schema ottico di ricostruzione dell'immagine mediante specchio sferico convergente:



si può osservare che i triangoli ABV e A''B''V sono simili, essendo due triangoli rettangoli con un angolo uguale (α). Di conseguenza, l'ingrandimento m è dato da:

$$AB/AV = A''B''/A''V$$

$$\begin{aligned} AB &= h \\ AV &= s \\ A''B'' &= h'' \\ A''V &= s'' \end{aligned}$$

$$m = s''/s = h''/h$$

**Si definisce ingrandimento il rapporto fra la dimensione lineare dell'immagine e la dimensione lineare del soggetto.**

Per lo specchio sferico divergente, valgono le medesime relazioni.



Se si adotta la convenzione sui segni descritta in precedenza nel calcolo degli ingrandimenti, un valore positivo di  $m$  indica che l'immagine è diritta, mentre un suo valore negativo indica che l'immagine è capovolta.

Tabella riassuntiva specchi sferici					
Lunghezza focale	Distanza soggetto	Distanza immagine	Orientamento immagine	Tipo di immagine	Ingrandimento
$f > 0$	$s > r$	$r > s'' > f$	capovolta	reale	$0 \geq m > -1$
$f > 0$	$s = r$	$s'' = s = r$	capovolta	reale	$m = -1$
$f > 0$	$r > s > f$	$s'' > r$	capovolta	reale	$m < -1$
$f > 0$	$s = f$	$s'' = \pm\infty$			
$f > 0$	$f > s \geq 0$	$s'' < 0$	diritta	virtuale	$m \geq 1$
$f < 0$	$s > 0$	$s'' < 0$	diritta	virtuale	$1 > m \geq 0$

## Potenza degli specchi sferici

Quando il raggio di curvatura e la lunghezza focale di uno specchio sono misurati in metri, si definisce **potenza di uno specchio, espressa in diottrie**, l'inverso della sua focale:

$$K = 2/r = 1/f$$

$$r, f = [m]$$

$$K = [D]$$

La potenza è positiva per gli specchi concavi e negativa per quelli convessi, esattamente come le rispettive lunghezze focali.

Ad esempio, si consideri uno specchio concavo con  $r = 0,5$  m:

$$K = 2/(0,5 \text{ m}) = 1/(0,25 \text{ m}) = 4 \text{ D}$$

mentre per uno specchio convesso con  $f = -0,5$  m:

$$K = 2/(-1 \text{ m}) = 1/(-0,5 \text{ m}) = -2 \text{ D}$$