



Dipartimento di Matematica e Fisica  
Ennio De Giorgi

## **XIII Scuola Estiva di Fisica GARA A SQUADRE**

- Il tempo disponibile per scegliere il Jolly è 15 minuti.
- Durante la prima ora, il Capitano, o la Capitana, della squadra, potranno rivolgere domande di chiarimento sul testo, tramite bigliettino.
- Se non diversamente richiesto, le risposte sono da fornire nelle unità del Sistema Internazionale.
- La tolleranza sulle risposte è del 1% tranne se specificato diversamente.

## TABELLA DELLE COSTANTI FISICHE

Denominazione	Simbolo	Valore
Accelerazione gravitazionale terrestre	$g$	$9.81 \text{ m/s}^2$
Costante di gravitazione universale	$G$	$6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg}\cdot\text{s}^2)$
Velocità della luce	$c$	$2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$
Carica elettrica elettrone	$e$	$-1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Costante dielettrica del vuoto	$\epsilon_0$	$8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)$
Permeabilità magnetica del vuoto	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
Densità acqua	$\rho_{acqua}$	$1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Densità benzina	$\rho_{benzina}$	$0.68 \text{ kg/lt}$
Densità acciaio inox 440	$\rho_{inox}$	$7.730 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Densità ottone	$\rho_{ottone}$	$8.700 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Calore specifico acqua	$C_{acqua}$	$4.187 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Calore specifico vapore	$C_{vapore}$	$1.900 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Calore specifico acciaio inox 440	$C_{inox}$	$5.02 \times 10^2 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Calore specifico ottone	$C_{ottone}$	$3.77 \times 10^2 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Calore latente di evaporazione dell'acqua	$\lambda_{acqua}$	$2.272 \times 10^6 \text{ J/kg}$
Coefficiente di dilatazione adiabatica per un gas biatomico	$\gamma_{biatomico}$	$7/5$
Raggio terrestre	$R_T$	$6375 \text{ km}$
Massa terrestre	$M_T$	$5.972 \times 10^{24} \text{ kg}$

*Quando il virus ha cominciato a diffondersi in Europa l'Italia, la penisola iberica e la Russia hanno sbarrato i confini col vecchio continente tenendo fuori le orde, ma il virus aveva già cominciato a circolare. Ciò però ci ha permesso di pensare ad un piano attuabile per riconquistare l'Europa continentale ...*

## **Diario di laboratorio: giorno 0**

### **1. Esca**

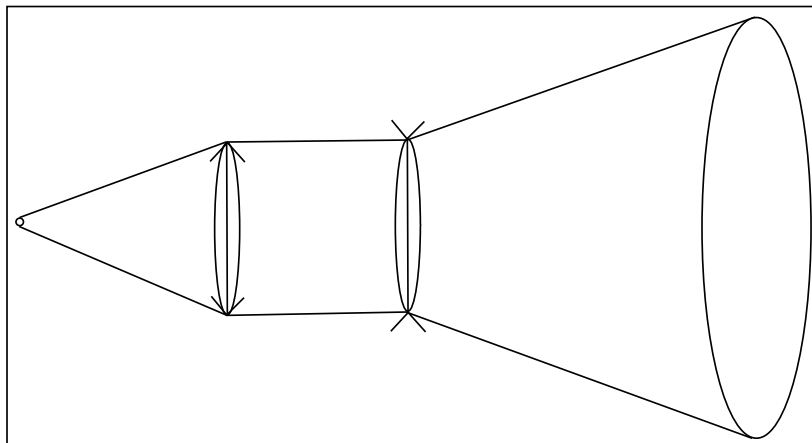
Attireremo gli zombie in una zona non edificata, la valle delle alpi calcaree del nord in Austria, e li stermineremo con un unico attacco. Per farlo monteremo due antenne che attireranno gli zombie, visto che sono attratti da onde elettromagnetiche di lunghezza 36 km. Le due antenne saranno piazzate una sulla Tour Eiffel di Parigi e l'altra 1104 km più a est, sul MOL campus di Budapest, l'edificio più alto della città, ed emetteranno onde piane l'una verso l'altra. Le onde saranno in fase e di uguale ampiezza (consideriamo l'ampiezza uniforme e costante nello spazio tra le due antenne). La zona prescelta si trova sulla congiungente Parigi-Budapest tra gli 870 km e i 890 km da Parigi e al suo interno si formerà uno dei massimi di interferenza tra i radiosegnali. Dobbiamo solo calcolare a quale distanza ottimale (in km) da Parigi piazzare il ricevitore che amplificherà il segnale in modo che sia all'interno della valle (tolleranza 0.1%).

### **2. Defibrillatore**

Nel kit di primo soccorso riteniamo necessaria la presenza di un defibrillatore. Il team medico garantisce che nelle peggiori condizioni l'energia in fase di scarica che deve erogare per far ripartire un cuore umano, considerando la resistenza transtoracica di  $100 \Omega$ , è di 360 J con un tempo caratteristico  $\tau$  di 10.0 ms. Abbiamo costruito ad hoc un condensatore che possa immagazzinare la giusta quantità di energia, ma l'unica fonte per caricarlo sul campo sarà la batteria dell'auto, che nelle peggiori condizioni dovrebbe avere una tensione di 12.0 V. La tensione necessaria per caricare il defibrillatore è però più alta, perciò contiamo di utilizzare in serie due amplificatori, ciascuno con guadagno  $55/3$ . Per far sì che funzioni occorre che costruiamo il circuito adeguato usando una tra le resistenze a disposizione, ma quale resistenza inserire in serie nel circuito per garantire il corretto tempo caratteristico  $\tau$ ?

### **3. Torcia**

Negli stadi successivi il virus trasforma gli infetti in esseri privi di autocontrollo con un innato istinto predatorio e sensi acutissimi. Per quanto sappiamo la sensibilizzazione dei recettori sensoriali li ha resi altamente fotofobici; se esposti per almeno 2.0 s a luci sopra i  $1000 \text{ lm/m}^2$  tendono a urlare, fuggire o accovacciarsi tentando di coprire il più possibile gli occhi. Per questo ogni operatore sarà dotato di una torcia da usare anche come deterrente. In caso di attacco gli zombie corrono con velocità che toccano i 7.5 m/s, perciò stiamo sviluppando in laboratorio un potente led a luce bianca che verrà messo nel piano focale di una lente convergente che raccoglie tutta la luce e la indirizza ad una lente divergente all'uscita della torcia. Quest'ultima lente ha una focale di 8.0 cm e un raggio di 5.0 cm, perciò quanti chilo lumen deve emettere minimo il led per garantire di irradiare per almeno 2.0 s uno zombie senza rischiare di essere colpiti?

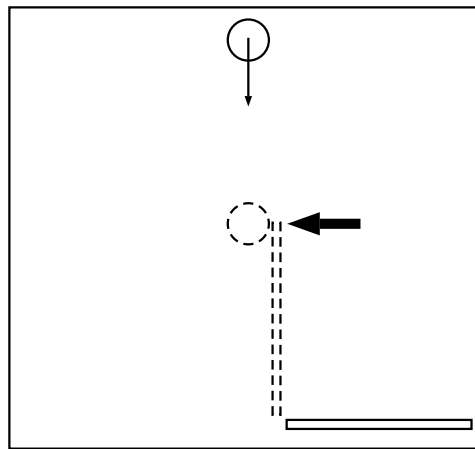


#### 4. Ascia

Le armi da fuoco sono poco efficaci contro queste creature, i loro movimenti sono puro istinto quindi colpirli al cuore o alla testa non sarebbe sufficiente, senza contare che il rumore dello sparo ne attirerebbe altri.

Di una cosa siamo certi però, la recezione della maggior parte degli stimoli e la primordiale elaborazione avviene nella testa, quindi laddove sia separata dal corpo si arresterebbero. L'accetta sarà la nostra più fedele amica là fuori. Lo stato di semidecomposizione dei tessuti rende estremamente semplice staccare la testa di netto con un colpo ben assestato; dalle simulazioni stimiamo che la forza media che la lama deve imprimere sul collo sia di 1500 N per un tempo di 4.0 ms. Per allenarci ad avere il giusto tempismo e il corretto swing, un macchinario ci lancerà palle da softball da 200 g frontalmente in modo che quando arrivano alla distanza giusta per colpirle siano ad altezza di 1.5 m e alla velocità di 7.5 M/s, per simulare uno zombie in corsa. Armati in questo caso di una mazza di 50 cm e 2.0 kg, quindi pari in peso e dimensione all'ascia, dovremo alzare lateralmente, fino alla posizione orizzontale, il braccio armato e ruotarlo per trasferire un impulso trasversale alla direzione del moto.

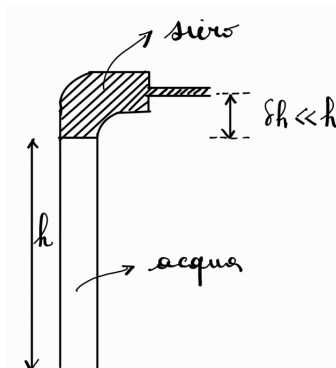
Se riusciremo ad imprimere il giusto impulso, la palla verrà lanciata e toccherà il suolo ad una certa distanza dal punto di battuta, ma quanto varrà questa distanza per ritenerci pronti allo scontro?



#### 5. Siero

La probabilità di incontrare infetti al di fuori di queste mura è alta, perciò dobbiamo essere pronti allo scontro e soprattutto ad essere esposti all'infezione. Il team medico ha messo a punto un siero che rende immuni almeno per 180 giorni, ma deve essere somministrato in fase di trasformazione.

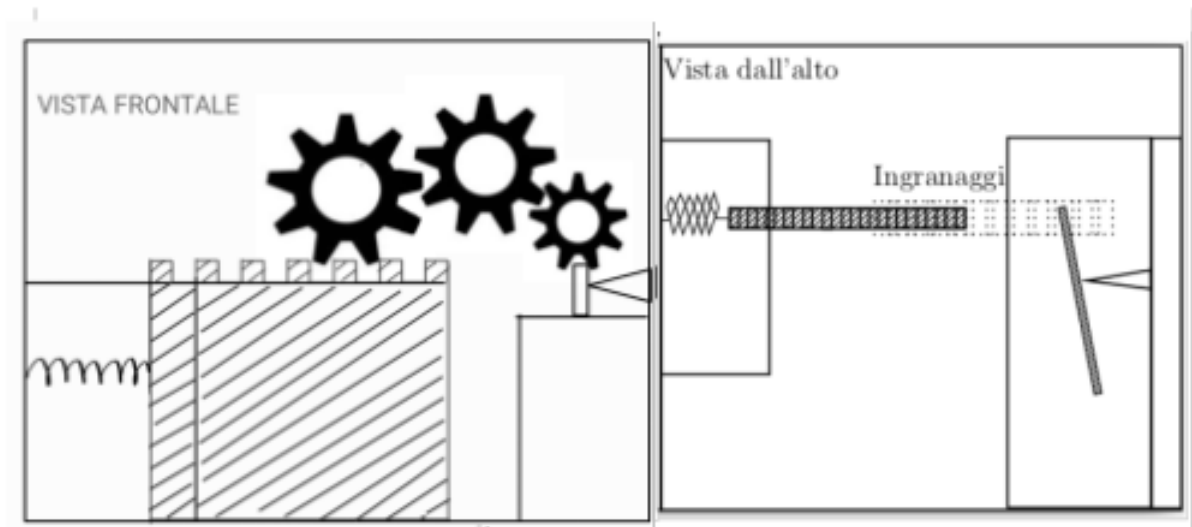
Verremo uno ad uno infettati, legati in camera di contenimento e il siero verrà pompato da una camera sottostante in un tubicino verticale di altezza  $h = 3.0$  m pieno di soluzione fisiologica (densità pari a quella dell'acqua) sulla quale galleggia il siero di densità  $900 \text{ kg/m}^3$ . Data l'ipersensibilità agli stimoli nella fase di trasformazione bisogna evitare che il paziente si liberi, perciò si devono inoculare endovena  $6.0$  ml di siero superando la pressione del sangue che in quella fase critica è di  $250 \text{ mmHg}$  ( $1 \text{ mmHg} = 133.322 \text{ Pa}$ ) badando che l'inoculazione non duri più di  $2.0$  s. Gli aghi che abbiamo misurano  $1.2$  mm di diametro mentre il tubo ha un diametro dieci volte tanto. Non resta che determinare la pressione, in kPa, necessaria per il pompaggio.



#### 4 Settembre

##### 6. La missione ha inizio

La nostra fortezza è rimasta salda durante gli attacchi per via di una struttura attentamente progettata. Il cancello ad esempio è un cancello a scorrimento in acciaio inox 440 alto 2.0 m, largo 2.0 m, spesso 15 cm e scorre in una guida del medesimo materiale. L'imponenza del cancello e il coefficiente d'attrito di 0.8 rendono difficile la sua apertura e pertanto ci tiene al sicuro. Un ulteriore meccanismo anti-apertura è all'interno del muro, un sistema elastico assimilabile ad una molla di costante elastica 63 kN/m che è a riposo quando il cancello è chiuso. L'apertura è manuale, 4 addetti spingono su un braccio di una lunga sbarra che fa leva su una sporgenza della parete mentre l'altro braccio, lungo 1.1 m, mette in moto un sistema di ingranaggi che amplifica la forza 8.5 volte e apre il cancello. Se riescono ad aprire un passaggio di 70 cm per il tempo sufficiente tutta la squadra potrà uscire, dobbiamo solo indicare loro a che distanza dal fulcro spingere, supponendo che ognuno eserciti una forza di 1000 N.



#### 5 Settembre

##### 7. Reset magnetico

Abbiamo preso l'auto dal punto in cui era nascosta e siamo partiti alla volta di Parigi. Le rotte delle orde sono mutevoli ma in linea di massima conosciamo i cammini più battuti e cerchiamo di evitarli. Questo ci ha messo nella condizione di non poterci dirigere in linea retta verso la destinazione e diventa fondamentale non perderci. Durante la notte ci accampiamo per spostarci per lo più di giorno, ma l'ago della bussola è rimasto bloccato nella direzione che ha avuto tutta la notte. La prossima volta chi è di turno di guardia si preoccuperà di girare la bussola di tanto in tanto ma per ora è fondamentale sbloccarla, senza scossoni eccessivi che rischierebbero di romperla. Se i microTesla del campo geomagnetico non ci riescono dobbiamo generare uno shock magnetico maggiore, perciò ci torna utile la batteria dell'auto, con i suoi 12 V di tensione e resistenza interna di  $0.12 \Omega$ . Con noi abbiamo del filo di stagno con resistenza per unità di lunghezza pari a  $11 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{cm}$  e l'attrezzatura per misurarlo e tagliarlo in modo da ricavarne un segmento di 10 cm necessario a mettere in contatto i poli della batteria. Considerato che la distanza minima alla quale avvicinare l'ago al filo è di 1 cm non sbaglieremo molto a considerare il filo infinito. In queste condizioni che intensità avrà il campo magnetico generato, in mT?

## 8 Settembre

### 8. Alle armi!

Abbiamo montato l'antenna sulla Tour Eiffel ma ci abbiamo messo decisamente troppo. Quando siamo scesi la notte era già calata e tra noi e l'auto abbiamo scorto movimenti così abbiamo deciso di nasconderci dietro una delle gambe della torre di fronte all'auto e ricorrere ad un piano di emergenza. Tutto sta nel capire quando il numero di zombie che ci separa dalla vettura è pari o minore a 4, in modo da avere sincere possibilità di raggiungerla combattendone uno a testa. Se accendiamo a distanza i fari dell'auto gli zombie urleranno e in molti si disperderanno ma sul campo abbiamo imparato che non tutti sono così sensibili, alcuni si limitano ad urlare. Per contare quanti sono senza esporci e farci vedere misuriamo l'intensità sonora delle urla. Usando il limite di percezione umano ( $10^{-12} \text{ W/m}^2$ ) uno zombie urla sviluppando 120 dB di intensità. Il microfono invece ha un'intensità di soglia di  $10^{-14} \text{ W/m}^2$ , quindi quanti decibel deve misurare affinché si possa ritenere di uscire e vincere il combattimento?

## 10 Settembre

### 9. Poco carburante

Siamo partiti con delle taniche di benzina di riserva e sappiamo dove trovarne delle altre. In particolare il punto più vicino è qui in Austria e dista una quarantina di chilometri ma dobbiamo studiare il percorso per evitare i sentieri più battuti visto che abbiamo scoperto, con profondo rammarico, che alcune delle creature sono resistenti persino alla luce del sole. Perciò è necessario calcolare quale distanza massima in km possiamo percorrere senza che l'auto si fermi considerando che ci sono rimasti solo 6.3 ℓ di benzina nel serbatoio (potere calorico pari a 43.6 MJ/kg. Il nostro motore è stato progettato da noi, un semplice motore a scoppio a 4 tempi a che brucia una miscela di benzina e aria (assimilabile ad un gas biatomico) che sfrutta un ciclo di Otto (adiabatica-isocora-adiabatica-isocora) con rendimento

$$\eta = 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1}$$

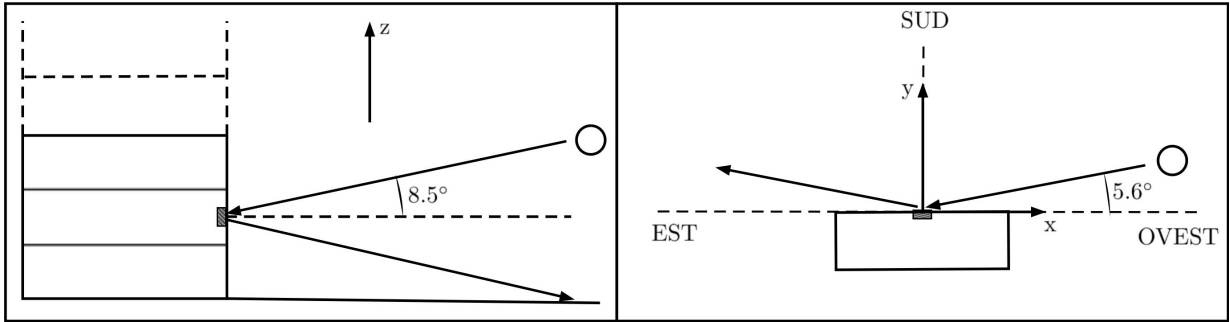
e passa da 200 mℓ di volume iniziale  $V_1$  fino a 3 ℓ in fase di espansione e viceversa dopo lo scarico. Del lavoro prodotto però solo l'80% viene convertito nella potenza necessaria a muoverci, ovvero 37.5 kW, mantenendo una velocità di crociera di 75 km/h ed evitando il più possibile accelerazioni e decelerazioni per non consumare ulteriore carburante.

## 13 Settembre

### 10. Il MOL campus di Budapest

Siamo arrivati qui a Budapest quasi a mezzogiorno ma non possiamo permetterci di ripetere l'errore di Parigi. Una delle finestre al primo piano della facciata rivolta a Sud dell'edificio è ancora intatta, vi applicheremo al di sopra uno strato di una speciale pellicola capace di riflettere interamente la radiazione violetta e ultravioletta. Nel cortile del campus posizioneremo un piccolo rivelatore ad effetto fotoelettrico che darà un segnale di allarme un'ora prima del tramonto, ovvero quando colpito dai fotoni riflessi dalla finestra prescelta situata a 4.5 m da terra. Per capire in che punto posizionare il rivelatore teniamo conto del fatto che l'elevazione del Sole a quell'ora sarà di  $8.5^\circ$  e che l'angolo formato dal Sole con l'Ovest sarà di  $5.6^\circ$ .

Fissando l'origine del sistema di assi alla base della facciata rivolta a Sud del palazzo in corrispondenza della finestra con la pellicola, a quali coordinate  $x$  e  $y$  dobbiamo piazzare il rivelatore? (scrivere la somma dei moduli delle coordinate)



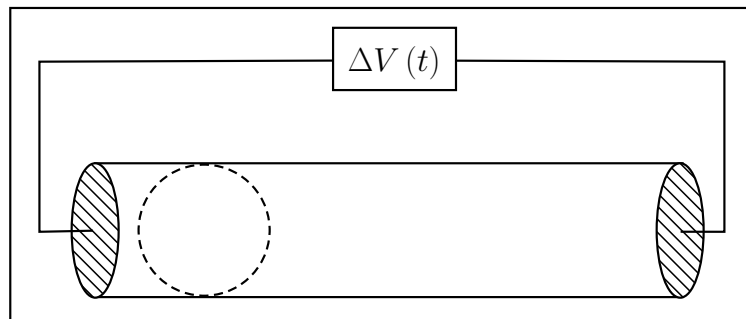
### 11. Passepartout

Finalmente sul tetto del campus e . . . un massiccio lucchetto da 1,0 kg blocca la porta per uscire. Abbiamo discusso per un pò e abbiamo deciso di separarci, gli altri due andranno a cercare qualcosa per fare leva mentre io e il mio collega proveremo un altro approccio per quantomeno indebolirlo. Spostando il coperchietto in ottone (di massa trascurabile) che copre il buco della serratura e misurando, stimiamo che la parte della chiave che entra all'interno del lucchetto sia lunga 3,0 cm, spessa 2,0 mm e con una larghezza media di 0,50 cm. Per quanto riguarda il corpo del lucchetto le dimensioni sono 10,0 cm, 4,0 cm e 2,0 cm ed è composto interamente di ottone mentre l'arco è in acciaio inox 440. Pensiamo di riempire l'alloggiamento per la chiave di acqua, dopodiché saldare il foro della serratura staccando il coperchietto dal lucchetto e sciogliendolo, lasciando colare l'ottone fuso sul foro della serratura. Una volta induritosi il "tappo" intrappolando in modo stagno l'acqua nel foro della serratura, scaldaremo il corpo del lucchetto per portare a 400°C tutta l'acqua. L'idea può sembrare folle, ma tentare non costa nulla, a quella temperatura la pressione dovrebbe essere tale da favorire l'apertura. Considerato che al momento ci sono 19°C e che la fiamma ossidrica ha una potenza di 820 W quanto tempo dovremo impiegare, una volta finita la saldatura, per provare ad aprirlo? (tolleranza 5%)

*15 Settembre*

### 12. Motore elettro-armonico

Siamo riusciti ad entrare nel bunker che sarà la nostra casa fino al termine della missione. Il computer all'interno del bunker è in disuso da svariati anni, ma pur essendo di vecchia tecnologia dovrebbe permetterci di attivare le antenne a distanza e compiere infine la missione. Questo computer ha una frequenza di clock di 150 kHz e per poter essere avviato sfrutta un oscillatore con frequenza 1000 volte minore composto da un cilindro cavo di lunghezza 0.6 mm al cui interno scorre una sferetta isolante di 0.05 mg con carica di  $-0.06$  nC localizzata all'interno. Ovviamente non abbiamo modo di interagire meccanicamente con queste delicate microcomponenti però possiamo agire elettricamente. Il moto armonico desiderato della sferetta viene causato da due piastre poste in corrispondenza degli estremi del cilindro che variano il loro potenziale elettrico nel tempo garantendo il moto armonico della sferetta (trascurando gli attriti). Trascurando gli effetti magnetici, a quanto dobbiamo impostare il valore assoluto della differenza di potenziale tra le due piastre nel momento in cui la sferetta è soggetta alla massima accelerazione?



*10 Gennaio*

13. **Una nuova alba**

Siamo arrivati sin qui, un traguardo che solo le menti di diversi scienziati che lavorano insieme potevano raggiungere. Le antenne sono ancora attive e dai satelliti si nota che la maggior parte dell'attività non-morta è convoluta ai piedi delle alpi austriache ... è arrivato il momento. Dalle simulazioni siamo riusciti a stimare che uno schianto di un corpo proveniente dall'atmosfera che rilasci 0.2 chilotoni di energia (1 chilotone =  $4.184 \cdot 10^{12}$  J), in parte spesa in attrito e in parte nell'urto col suolo, sarebbe sufficiente a sterminare gran parte delle creature, complici anche le valanghe provocate dalle pareti delle montagne vicine. Abbiamo calcolato che possiamo utilizzare per questo scopo due satelliti gemelli adibiti a telecomunicazioni di 7800 kg, sperando di farli scontrare in maniera quanto più anelastica possibile, proprio sopra le coordinate del punto prescelto. I due satelliti al momento orbitano a distanze differenti ma con velocità angolare l'una opposta all'altra, in pratica descrivono orbite concentriche sullo stesso piano ruotando però in senso opposto. Dobbiamo riuscire a fare occupare, al satellite più lento (che viaggia a 2500 m/s) l'orbita del satellite più veloce e ... incrociare le dita. Dopo la manovra, in modulo, di quanto sarà variata la velocità del satellite più lento?