

# Appunti di Meccanica

Tommaso Miliani

26-02-26

## 1 Parametrizzazione e curve regolari

L'idea è sceglier un tempo  $t$  ed un istante successivo  $\Delta t$  per ottenere da una qualsiasi curva  $\vec{r}(t)$  il vettore differenza tra i vettori posizioni  $\vec{r}(t + \Delta t)$  e  $\vec{r}(t)$ :

$$\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)$$

Dunque si può ottenere il rapporto incrementale tra le due posizioni:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t}$$

Quando questo limite esiste (se si da sufficiente regolarità alle funzioni basta che siano  $C^1$ ). Si nota che

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} = \frac{\hat{i}(r_x(t + \Delta t) - r_x(t)) + \hat{j}(r_y(t + \Delta t) - r_y(t)) + \hat{k}(r_z(t + \Delta t) - r_z(t))}{\Delta t}$$

Se le funzioni sono regolari, allora si può ottenere

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \hat{i}\frac{dx}{dt} + \hat{j}\frac{dy}{dt} + \hat{k}\frac{dz}{dt}$$

Per ricordare che è una derivata rispetto al tempo si usa  $\dot{x}, \dots$ . L'altra grande protagonista della fisica è l'accelerazione:

$$\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \hat{x}\ddot{x} + \hat{y}\ddot{y} + \hat{z}\ddot{z}$$

Si dice che una curva  $\vec{r}(t)$  si dice **regolare** se è regolare come funzione matematica ossia se  $\vec{r}(t) \in (C^1(\mathbb{R}))^3$ . Inoltre si vuole anche che

$$\left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right| \neq 0$$

Esiste dunque una differenza tra regolarità geometrica e regolarità analitica. Ovviamente dire che il modulo si annulla vuol dire che tutte le componenti si annullano. Una proprietà che tornerà comoda è la seguente:

$$\hat{u}(t) \text{ versore}$$

Che può variare nel tempo e nella direzione, ha modulo costante, ma se  $t$  cambia si orienta in direzione diversa. Vale dunque la seguente semplice proprietà:

$$\left\langle \frac{d\hat{u}}{dt}, \hat{u} \right\rangle = 0$$

Inoltre

$$|\hat{u}|^2 = 1$$

Si ricorda poi il legame tra modulo e prodotto scalare

$$\langle \hat{u}, \hat{u} \rangle = |\hat{u}|^2 = 1$$

Se si deriva questa espressione:

$$0 = \frac{d}{dt} \langle \hat{u}, \hat{u} \rangle = \left\langle \frac{d\hat{u}}{dt}, \hat{u} \right\rangle + \left\langle \hat{u}, \frac{d\hat{u}}{dt} \right\rangle = 2 \left\langle \frac{d\hat{u}}{dt}, \hat{u} \right\rangle$$

poiché vale la regola di Leibniz,

**Esempio 1.1** (Esempio veloce).

Data una curva regolare

$$\vec{r}(t) = \hat{i}t^2 + t^3\hat{j}$$

La parabola viene definita a partire da questo parametro:

$$\begin{aligned} x(t) &= t^2 \implies t = \pm\sqrt{x} \\ y(t) &= t^3 = x^{\frac{3}{2}} = \pm x^{\frac{3}{2}} \end{aligned}$$

Per vedere se è regolare devo valutare la derivata:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = 2t\hat{i} + 3t^2\hat{j}$$

Devo vedere se il vettore che definisce la curva non si annulla:

$$\left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right|^2 = 4t^2 + 9t^4$$

Dunque costituisce una mappa lineare  $y = x^2 + x^3$ . Andando a creare una cuspide in  $x = 0$ .

### Teorema 1.1.

*La regolarità di una curva non dipende dalla parametrizzazione.*

*Dimostrazione.* Presa una curva con parametrizzazione  $r(t)$ :

$$t(t_1) \rightarrow r_1(t_1) = r(t(t_1))$$

Applicando la derivazione della funzione composta:

$$\frac{d\vec{r}_1}{dt_1} = \left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right| \left| \frac{dt}{dt_1} \right|$$

Se la parametrizzazione è regolare, allora

$$|\vec{t}_1| = |\vec{t}|$$

Dunque per definizione di regolarità mi permette di definire che la regolarità della curva non dipende dalla parametrizzazione ed è una proprietà intrinseca della curva perché la parametrizzazione è solo un modo per descrivere la curva.  $\square$

## 2 Lunghezza di una curva

Si può procedere adesso a definire la lunghezza di una curva (regolare). Il metodo intuitivo per costruire una curva è spezzettare la curva in piccoli pezzi diritti (poiché si determinarne la lunghezza con la norma euclidea). Dunque la lunghezza della spezzata è la somma dei pezzi:

$$l(r(t_A), r(t_B)) = \int_{t_A}^{t_B} \left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right| dt$$

Ossia integrando il modulo del versore tangente. (Guardare dispense)