

Principles of Cryptocurrency Design

Appunti ed Esercizi

Francesco Pasquale

30 aprile 2026

I cosiddetti *indirizzi Bitcoin* sono degli hash crittografici di chiavi pubbliche. Le chiavi pubbliche in questione sono punti su *curve ellittiche*. In questa nota facciamo una breve panoramica su questi oggetti matematici e sui parametri della specifica curva usata in Bitcoin.

1 Curve ellittiche

Possiamo descrivere una curva ellittica come l'insieme dei punti (x, y) , a coordinate in un opportuno campo, che soddisfano l'equazione

$$y^2 = x^3 + ax + b \quad (1)$$

dove a e b sono parametri che definiscono la curva, con l'aggiunta di un punto che chiamiamo *punto all'infinito* $\{\infty\}$.

Esercizio 1. Scrivere un programma che prenda in input i parametri a e b e gli estremi di un intervallo di numeri reali, $[x_0, x_1] \subseteq \mathbb{R}$ e disegni il grafico della curva in (1) al variare di $x \in [x_0, x_1]$.

I parametri a e b per la curva che viene usata in Bitcoin sono $a = 0$ e $b = 7$. Se andassimo a tracciare il grafico della curva nel campo dei numeri reali, verrebbe così

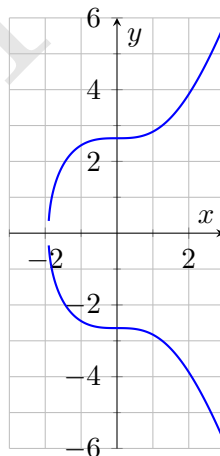


Figura 1: Porzione di curva ellittica su \mathbb{R}

Per le applicazioni in crittografia non si considera il campo dei numeri reali, ma i campi finiti \mathbb{F}_p , dove p è un numero primo, ossia \mathbb{F}_p è l'insieme dei numeri interi $\{0, 1, \dots, p-1\}$ con le usuali operazioni di somma e prodotto, modulo p .

La curva ellittica che viene usata in Bitcoin si chiama *secp256k1* ed è definita sul campo \mathbb{F}_p con $p = 2^{256} - 2^{32} - 2^9 - 2^8 - 2^7 - 2^6 - 2^4 - 1$.

Esercizio 2. Scrivere un programma per verificare che il numero p definito qui sopra è un numero primo.

Su una curva ellittica

$$\mathcal{C} = \{(x, y) \in \mathbb{F}_p^2 : y^2 = x^3 + ax + b\} \cup \{\infty\}$$

si può definire un'operazione, che chiamiamo *somma*, che a due punti sulla curva $P, Q \in \mathcal{C}$ associa un terzo punto sulla curva $P + Q \in \mathcal{C}$, in modo tale che $(\mathcal{C}, +)$ sia un gruppo.

È facile vedere che c'è un algoritmo polinomiale per il seguente problema computazionale

INPUT: Un punto sulla curva $G \in \mathcal{C}$ e un intero $k \in \mathbb{N}$

OUTPUT: Il punto $P \in \mathcal{C}$ tale che $P = kG$

Dove con kP intendiamo $P + P + \dots + P$, k volte.

Esercizio 3. Descrivere un algoritmo che, assumendo che $P + P$ si possa calcolare in tempo $\mathcal{O}(1)$, calcoli kP in tempo $\mathcal{O}(\log k)$.

D'altra parte, in generale non si conoscono algoritmi polinomiali per il problema computazionale inverso (Discrete Logarithm Problem)

INPUT: Due punti sulla curva $G, P \in \mathcal{C}$

OUTPUT: Un intero $k \in \mathbb{N}$ tale che $P = kG$, oppure **None** se un tale intero non esiste.

Dato un *punto base* $G \in \mathcal{C}$, l'insieme dei punti sulla curva del tipo kG , al variare di $k \in \mathbb{N}$, è il sottogruppo generato da G

$$\langle G \rangle = \{(x, y) \in \mathcal{C} : (x, y) = kG \text{ per qualche } k \in \mathbb{N}\}.$$

Il numero di elementi di questo insieme $n = |\langle G \rangle|$ si chiama *ordine* del sottogruppo.

Una chiave segreta \mathbf{sk} è un intero positivo minore di n , la chiave pubblica \mathbf{pk} corrispondente è il punto sulla curva $\mathbf{sk} \cdot G$.

Il punto base della curva SECP256K1 è $G = (x, y)$, dove

$x = 0x\ 79BE667E\ F9DCBBAC\ 55A06295\ CE870B07\ 029BFCDB\ 2DCE28D9\ 59F2815B\ 16F81798$

$y = 0x\ 483ADA77\ 26A3C465\ 5DA4FBFC\ 0E1108A8\ FD17B448\ A6855419\ 9C47D08F\ FB10D4B8$

Esercizio 4. Verificare che le coordinate (x, y) qui sopra soddisfano l'equazione $y^2 = x^3 + 7 \pmod p$.

Esercizio 5. L'ordine del gruppo generato dal punto base della curva è

$n = 0x\ \text{FFFFFFFF}\ \text{FFFFFFFF}\ \text{FFFFFFFF}\ \text{FFFFFFFFE}\ \text{BAAEDCE6}\ \text{AF48A03B}\ \text{BFD25E8C}\ \text{D0364141}$

Verificare che n è un numero primo.

Un *indirizzo* Bitcoin relativo a uno script del tipo P2PKH è l'hash, opportunamente calcolato e codificato, di un punto kG sulla curva ellittica SECP256K1. Nella prossima lezione vedremo i dettagli per calcolarlo.