crittoanalisi del DES

Di fatto, il modo più efficiente di violare il DES è un attacco a forza bruta: provare ogni possibile chiave, una dopo l'altra.

Ci sono due attacchi "a livello teorico" applicabili a ogni cifrario a blocchi

crittoanalisi differenziale: "scoperta" da Biham e Shamir (ca 89). Il DES resiste molto bene alla CD: la tecnica era nota all'IBM e/o all'NSA al momento della progettazione, ed è stata tenuta segreta.
Per violare il DES con la CD, servono 2^{47} chosen plaintext.

crittoanalisi lineare: scoperta da Matsui nel 93, migliorata via via. Servono $\sim 2^{41}$ known plaintext. Non ci sono prove che il DES sia stato sviluppato per resistere a questo tipo di attacco.

crittoanalisi differenziale

- attacco complesso
- idea: studiare in comportamento di coppie di blocchi di testo attraverso la cifratura invece che di un singolo blocco
- si fissa una coppia di plaintext arbitraria - ma con una fissata differenza (XOR)
- usando le differenze nei risultanti testi cifrati, si assegna una probabilità alle possibili chiavi
- esaminando un numero sufficiente di coppie, una chiave emerge come più probabile
- il DES resiste molto bene alla CD – anche il numero di round è quello giusto

crittoanalisi lineare

- attacco più complesso
- si cerca di individuare delle approssimazioni lineari per la trasformazioni del DES
- una relazione del tipo: (lo XOR di alcuni bit per PT) XOR (lo XOR di alcuni bit del CT)=lo XOR di alcuni bit della chiave
- questa approssimazione lineare sarà valida con una certa probabilità p: se $p \neq \frac{1}{2}$, posso sfruttare questo bias

- il DES non è progettato in modo particolare per resistere a questo tipo di attacco
- in particolare la S_5

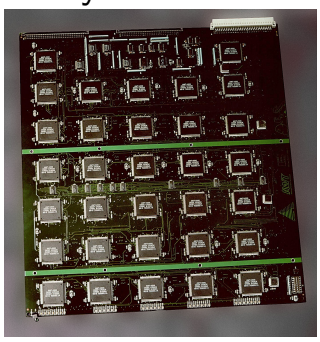
attacchi a forza bruta

Lo spazio delle chiavi del DES ha grandezza 2^{56}. Già al momento dell'introduzione era considerato inadeguato.
Proposte per una macchina DES-cracker
1977: Diffie-Hellmann propongono una macchina che può trovare la chiave in un giorno. Costo stimato $ 20.000.000
1993: Wiener, 7 ore, $ 1.000.000
(Probabilmente, mai realizzate)

Nel 97 , la RSA Security ha sponsorizzato una gara, offrendo $ 10.000 ai primi a decrittare un messaggio cifrato con il DES. La gara è stata vinta dal progetto DESCHALL, usando il calcolo distribuito.

There are many people who will not believe a truth until they can see it with their own eyes. Showing them a physical machine that can crack DES in a few days is the only way to convince some people that they really cannot trust their security to DES.

Nel 98, la EFF (Electronic Frontier Foundation) ha costruito una macchina al costo di circa $ 250.000. La macchina ha trovato una chiave in 2 giorni circa.



COPACOBANA (2006, univ. di Bochum e Kiel) - $ 10.000

debolezze del DES

- ha una "proprietà di complementazione":
- $e_k(x) = y \iff e_{\overline{k}}(\overline{x}) = \overline{y}$.
- se si ha un testo in chiaro scelto posso ridurre un attacco a forza bruta di un fattore 2
- voglio scoprire la chiave k - posso generare (chosen plaintext) i due CT $y_1 = e_k(x), y_2 = e_k(\overline{x})$
- attaco a forza bruta: provo le varie chiavi k_a e calcolo $e_{k_a}(x)$
- se $e_{k_a}(x) = y_1$, la chiave cercata è $k = k_a$
- se $e_{k_a}(x) = \overline{y_2}$, allora la chiave cercata è $k = \overline{k_a}$
- con ogni tentativo elimino 2 chiavi

rafforzare il DES

- L'uso del DES è molto diffuso. Una volta che si è rivelato non più sicuro si può
  - passare a un algoritmo migliore, completamente diverso (AES) – può essere costoso
  - trovare il modo di rafforzare la sicurezza del DES
- tramite due iterazioni: si usano due chiavi (k_1, k_2), e la cifratura è

$$e_{k_2}(e_{k_1}(x))$$

- Questo per il DES porta il numero di possibili chiavi a 2^{112} (basta)

- ma attenzione - bisogna essere sicuri che il DES non sia idempotente!
- la cifratura non deve essere chiusa ripetto alla composizione
- se per ogni coppia di chiavi (k_1, k_2) esiste una chiave k_3 con

$$e_{k_2}(e_{k_1}(x)) = e_{k_3}(x),$$

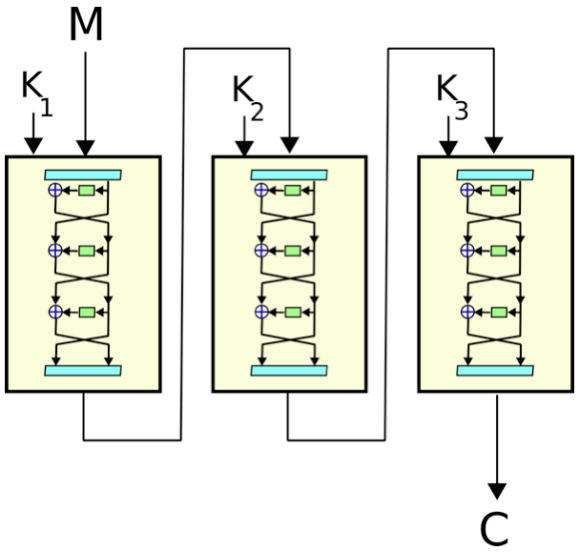
  non c'è nessun miglioramento: due (o più) iterazioni non servono a niente
- Già osservato che i cifrari a sostituzione hanno questa proprietà - la composizione di sue sostituzioni è una sostituzione (di più: formano gruppo)
- Le cifrature DES non sono chiuse rispetto alla composizione, né formano gruppo.
- Questo non è stato chiaro per molto tempo. Dimostrato solo nel 92 (Campbell e Wiener)

meet-in-the-middle

- si può mostrare che due iterazioni non bastano - il DES a due iterazioni è vulnerabile a un attacco meet-in-the-middle
- funziona per ogni cifrario iterato due volte – ha bisogno di spazio
- MIM attack: known plaintext: so che $e_{k_2}(e_{k_1}(x)) = y$
- calcolo $e_k(x)$ per ogni chiave k (e memorizzo i risultati)
- brute force $d_{k'}(y)$ per ogni chiave k'
- ogni corrispondenza può rivelare le due chiavi - per accertarsene, si testano altre coppie

triplo DES

Servono tre iterazioni: triplo DES



- il triplo DES può avere uno schema EDE
- $y = e_{k_3}(d_{k_2}(e_{k_1}(x)))$
- oppure uno schema EEE $y = e_{k_3}(e_{k_2}(e_{k_1}(x)))$

chiavi

- schema EDE
  - 2-DES: con due chiavi e tre iterazioni:

    $$y = e_{k_1}(d_{k_2}(e_{k_1}(x)))$$

  - 3-DES: con tre chiavi e tre iterazioni:

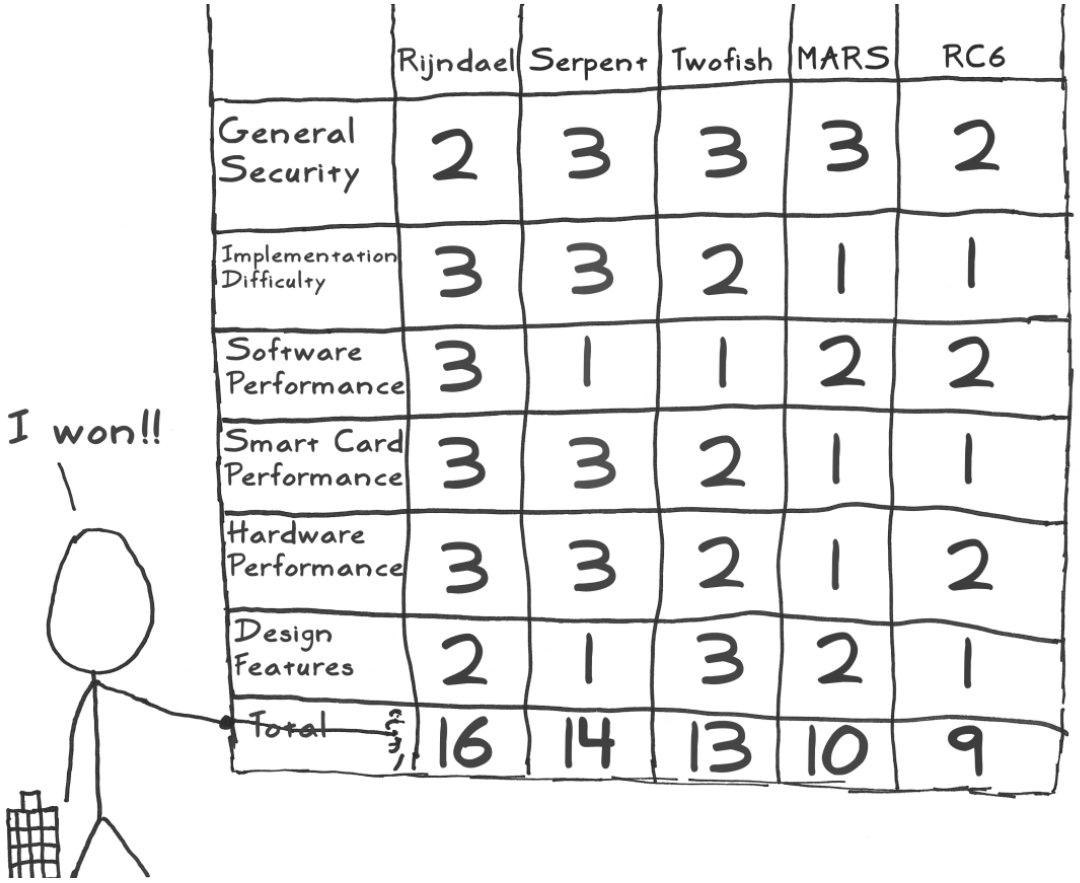
    $$y = e_{k_3}(d_{k_2}(e_{k_1}(x)))$$

- Il vantaggio dell'EDE è la compatibilità col DES ordinario: con $k_1 = k_2 = k_3$, 3-DES=DES
- è ancora uno standard NIST, ma è lento!
- Sempre più spesso rimpiazzato dall'AES.

storia AES

- nel settembre 97 il NIST comincia la selezione del successore del DES
- si chiamerà AES – Advanced Encryption Standard
- 21 proposte - solo 15 soddisfano i criteri necessari
- i 15 candidati vengono annunciati nella *First AES Candidate Conference*, nel 98
- seguono la *Second AES Candidate Conference*, a Roma nel 99, dopo la quale vengono annunciati i 5 finalisti
- sono MARS, RC6, Rijndael, Serpent, Twofish
- la *Third AES Candidate Conference* si tiene nel'aprile 2000
- nell'ottobre 2000 viene scelto Rijndael

- la competizione è stata molto internazionale
- Rijndael è stato proposta da due crittografi belgi: Daemen e Rijmen
- MARS (IBM), RC6 (Rivest e RSA Security), Twofish (Schneier e altri)
- Serpent è di Anderson (UK), Biham (Israele), Knudsen (Danimarca)



(illustrazione di Jeff Moser da `http://www.moserware.com`)

AES

- preceduto da SHARK (attaccato con successo da Jakobsen e Knudsen)
- e da Square
- blocchi di lunghezza 128
- 3 lunghezze per la chiave: 128, 192, 256
- nr di round 10, 12, 14 a seconda della lunghezza della chiave
- descriviamo la versione a 10 round con chiave di 128 bit

AES - blocchi

- in ogni momento, il blocco di 128 bit è pensato come una matrice 4×4 di byte (8 bit) – 16 byte $=$ 128 bit

$$\begin{matrix} s_{0,0} & s_{0,1} & s_{0,2} & s_{0,3} \\ s_{1,0} & s_{1,1} & s_{1,2} & s_{1,3} \\ s_{2,0} & s_{2,1} & s_{2,2} & s_{2,3} \\ s_{3,0} & s_{3,1} & s_{3,2} & s_{3,3} \end{matrix}$$

- spesso $s_{i,j}$ viene pensato come una coppia di cifre esadecimali (ognuna rappresenta 4 bit)
- ex: $s_{i,j} = 5D = 01011101 = a_7 a_6 a_5 a_4 a_3 a_2 a_1 a_0$
- per alcune operazioni i byte vengono trattati come elementi del campo $GF(2^8) = \mathbb{Z}_2[x]/(x^8 + x^4 + x^3 + x + 1)$; (Rijndael's finite field)
- a ogni stadio dell'algoritmo, la tabella si chiama **Stato** (state)