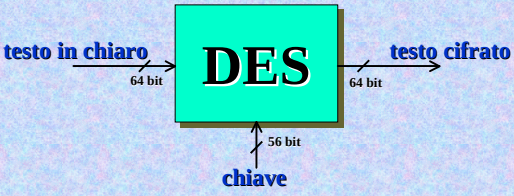
Data Encryption Standard (DES)

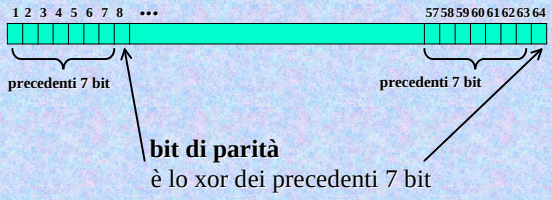
- 15 maggio 1973, richiesta pubblica per uno standard della NBS, oggi NIST (27 agosto 1974, seconda richiesta)
- Modifica di Lucifer, sviluppato da IBM (chiave da 128 a 56 bit) reso noto nel 1975
- 1976: due workshop
- Standard pubblicato 15 gennaio 1977
- Riaffermato per successivi 5 anni nel 1983, 1987, 1992
- DES challanges (giugno 1997, luglio 1998, gennaio 1999)
- Advanced Encryption Standard (AES)

Data Encryption Standard



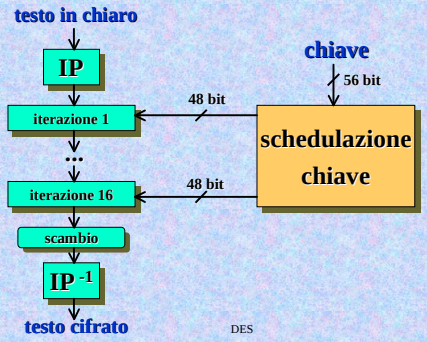
Lunghezza della Chiave

Nello standard DES la chiave è lunga 64 bit
8 byte di cui l'ottavo bit è di parità



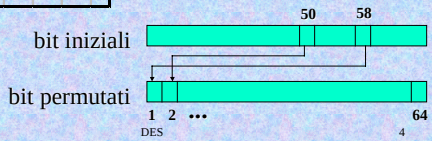
bit di parità
è lo xor dei precedenti 7 bit

Struttura del DES



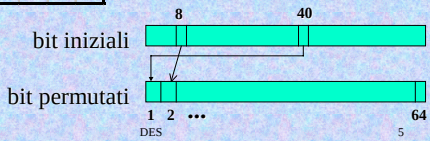
Permutazione Iniziale IP

58	50	42	34	26	18	10	2
60	52	44	36	28	20	12	4
62	54	46	38	30	22	14	6
64	56	48	40	32	24	16	8
57	49	41	33	25	17	9	1
59	51	43	35	27	19	11	3
61	53	45	37	29	21	13	5
63	55	47	39	31	23	15	7

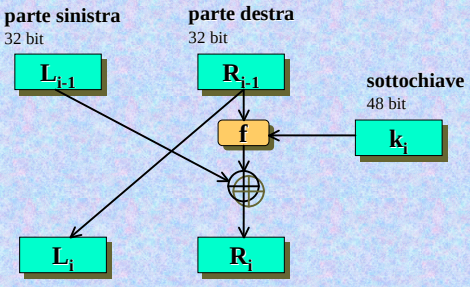


Permutazione Inversa IP^{-1}

40	8	48	16	56	24	64	32
39	7	47	15	55	23	63	31
38	6	46	14	54	22	62	30
37	5	45	13	53	21	61	29
36	4	44	12	52	20	60	28
35	3	43	11	51	19	59	27
34	2	42	10	50	18	58	26
33	1	41	9	49	17	57	25

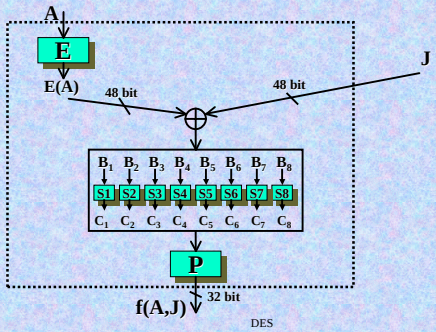


Singola Iterazione



DES 6

La funzione f

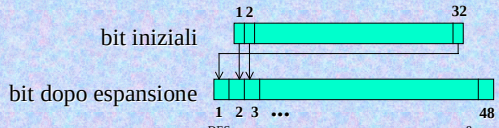


DES 7

Espansione E

32	1	2	3	4	5
4	5	6	7	8	9
8	9	10	11	12	13
12	13	14	15	16	17
16	17	18	19	20	21
20	21	22	23	24	25
24	25	26	27	28	29
28	29	30	31	32	1

16 bit sono duplicati



DES 8

S-box

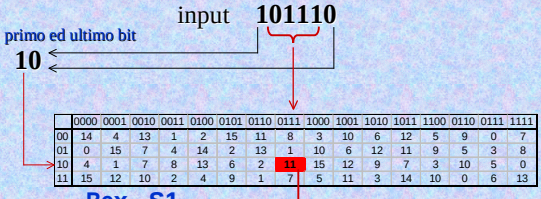
	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	0110	0111	1111
00	14	4	13	1	2	15	11	8	3	10	6	12	5	9	0	7
01	0	15	7	4	14	2	13	1	10	6	12	11	9	5	3	8
10	4	1	7	8	13	6	2	11	15	12	9	7	3	10	5	0
11	15	12	10	2	4	9	1	7	5	11	3	14	10	0	6	13

Box S1

6 bit in input specificano elemento della tabella la cui conversione binaria dà i 4 bit output

DES 9

Funzionamento delle S-box



	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	0110	0111	1111
00	14	4	13	1	2	15	11	8	3	10	6	12	5	9	0	7
01	0	15	7	4	14	2	13	1	10	6	12	11	9	5	3	8
10	4	1	7	8	13	6	2	11	15	12	9	7	3	10	5	0
11	15	12	10	2	4	9	1	7	5	11	3	14	10	0	6	13

Box S1

output 11 in binario = **1011**

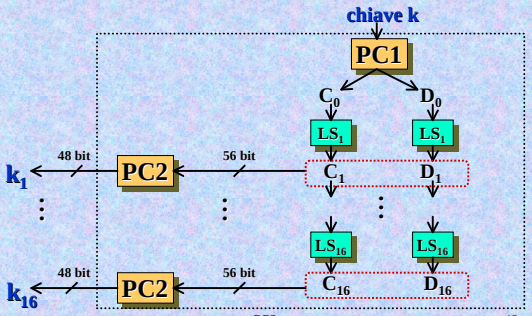
DES 10

Proprietà delle S-box [NBS, 1976]

- Ogni riga è una permutazione degli interi 0,..,15
- Nessuna S-box è una funzione affine o lineare dei suoi input
- Cambiando un solo bit di input ad una S-box variano almeno due bit nell'output
- Per ogni S-box S e per ogni input x a 6 bit:
  S(x) e S(x⊕001100) differiscono in almeno due bit
- Per ogni S-box, per ogni input x e per ogni bit d,g,
  $S(x) \neq S(x \oplus 11dg00)$
- Per ogni S-box, se fissiamo un bit di input e osserviamo il valore di un fissato bit di output, il numero degli input per i quali il bit di output vale 0 è circa uguale al numero degli input per i quali tale bit vale 1

DES 11

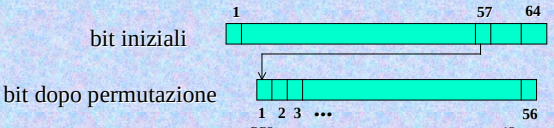
Schedulazione delle chiavi



Permutazione PC-1

57	49	41	33	25	17	9	1	58	50	42	34	26	18
10	2	59	51	43	35	27	19	11	3	60	52	44	36
63	55	47	39	31	23	15	7	62	54	46	38	30	22
14	6	61	53	45	37	29	21	13	5	28	20	12	4

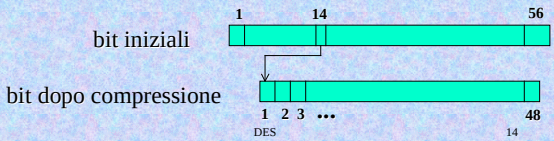
i bit in posizione 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64 sono di parità e non compaiono



Compressione-permutazione PC-2

14	17	11	24	1	5	3	28	15	6	21	10	23	19	12	4
26	8	16	7	27	20	13	26	41	52	31	37	47	55	30	40
51	45	33	48	44	49	39	56	34	53	46	42	50	36	29	32

8 bit soppressi: in posizione 9, 18, 22, 25, 35, 38, 43 e 54



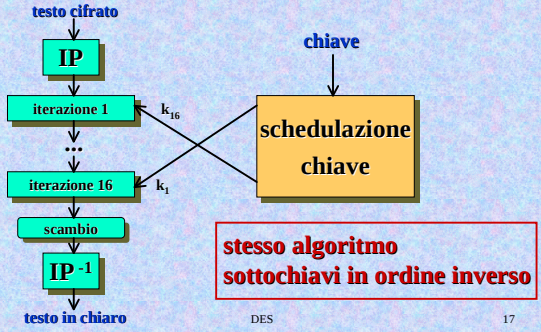
Schedulazione degli shift a sinistra

iterazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
shift	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1

Totale shift nelle 16 iterazioni = 28 posizioni

Decifratura DES

Decifratura DES



Prestazioni

Hardware: chip della Digital, 1 Gbit/secondo

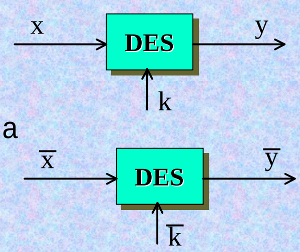
Processore	Frequenza del clock (Mhz)	Parola macchina (in bits)	Numero di blocchi DES (per second)
8088	4.7	8	370
68000	7.6	16	900
80286	6.0	16	1.100
68020	16.0	32	3.500
68030	16.0	32	3.900
80286	25.0	16	5.000
68030	50.0	32	10.000
68040	25.0	32	16.000
68040	40.0	32	23.000
80486	66.0	32	43.000
Sun ELC			26.000
HyperSparc			32.000
RS6000-350			53.000
Sparc 10/52			84.000
DEC Alpha 4000/610			154.000
HP 9000/887	125		196.000

DES 18

Proprietà del complemento

Se

allora

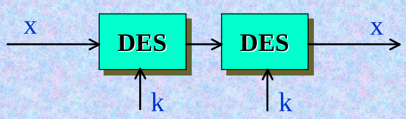


‾ è il complemento bit per bit

DES 19

Chiavi deboli

k è una chiave debole se per ogni x



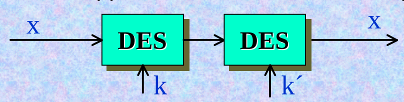
Ci sono 4 chiavi deboli

chiave debole	C_0	D_0
0101 0101 0101 0101	0^{28}	0^{28}
FEFE FEFE FEFE FEFE	1^{28}	1^{28}
1F1F 1F1F OEOE OEOE	0^{28}	1^{28}
E0E0 E0E0 F1F1 F1F1	1^{28}	0^{28}

DES 20

Chiavi semideboli

k,k´ è una coppia di chiavi semideboli se per ogni x



Ci sono 6 coppie di chiavi semideboli

C_0	D_0	k	k'	C_0	D_0
$\{01\}^{14}$	$\{01\}^{14}$	01FE 01FE 01FE 01FE	FE01 FE01 FE01 FE01	$\{10\}^{14}$	$\{10\}^{14}$
$\{01\}^{14}$	$\{10\}^{14}$	1FE0 1FE0 0EF1 0EF1	E01F E01F F10E F10E	$\{10\}^{14}$	$\{01\}^{14}$
$\{01\}^{14}$	0^{28}	01E0 01E0 01F1 01F1	E001 E001 F101 F101	$\{10\}^{14}$	0^{28}
$\{01\}^{14}$	1^{28}	1FFE 1FFE 0EFE 0EFE	FE1F FE1F FE0E FE0E	$\{10\}^{14}$	1^{28}
0^{28}	$\{01\}^{14}$	011F 011F 010E 010E	1F01 1F01 OE01 0E01	0^{28}	$\{10\}^{14}$
1^{28}	$\{01\}^{14}$	E0FE E0FE F1FE F1FE	FEE0 FEE0 FEF1 FEF1	1^{28}	$\{10\}^{14}$

DES 21

Crittoanalisi differenziale

- Eli Biham e Adi Shamir [1990]
- Già conosciuto da Coppersmith quando fu progettato !?

numero round	chosen plaintext	known plaintext
8	2^{14}	2^{38}
9	2^{24}	2^{44}
10	2^{24}	2^{43}
11	2^{31}	2^{47}
12	2^{31}	2^{47}
13	2^{39}	2^{52}
14	2^{39}	2^{51}
15	2^{47}	2^{56}
16	2^{47}	2^{55}

numero messaggi in chiaro

DES 22

Crittoanalisi differenziale e lineare

Attacco *known-plaintext* oppure *chosen-plaintext*

Metodo di attacco	known plaintext	chosen plaintext	complessità spazio	complessità tempo
precomputazione esaustiva	-	1	2^{56}	1
ricerca esaustiva	1	-	trascurabile	2^{55}
crittoanalisi lineare	2^{43} (85%)	-	messaggi	2^{43}
	2^{38} (10%)	-	messaggi	2^{50}
crittoanalisi differenziale	-	2^{47}	messaggi	2^{47}
	2^{55}	-	messaggi	2^{55}

percentuale di successo

DES 23

Ricerca esaustiva

- Numero chiavi DES = $2^{56} \approx 7{,}2056 \cdot 10^{16}$
- Un computer a 500 Mhz che testa una chiave per ciclo di clock impiega

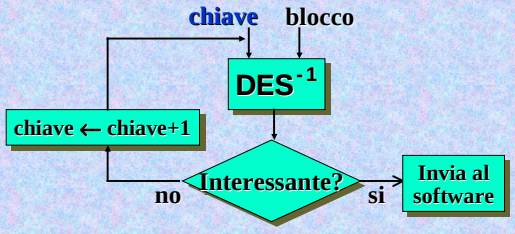
  144.115.188 secondi ≈ 834 giorni ≈ 2 anni e 3 mesi

  per provare $2^{55} \approx 3{,}6 \cdot 10^{16}$ chiavi

DES challanges

- 10.000 dollari al primo che rompe la *challenge* se rotta entro il 25% del miglior tempo precedente
- **Giugno 1997**: 39 giorni, testato 24% delle 2^{56} chiavi, DESCHALL
  - Rocke Verser scrisse e distribuì un client di ricerca,
  - 70.000 computer,
  - trovata da Michael K. Sanders (Pentium 90 MHz, 16M)
  - messaggio: Strong cryptography makes the world a safer place
- **Luglio 1998**: 56 ore, Deep Crack, EFF, 250.000 dollari
- **Gennaio 1999**: 22 ore 15 minuti testando 245 miliardi di chiavi al secondo, Distributed.Net 100.000 computer e EFF

Deep Crack: Unità di ricerca



Chiave giusta
Falso positivo

Deep Crack: Unità di ricerca

- Clock di 40Mhz
- Una decifratura in 16 cicli di clock
- Numero chiavi provate al secondo

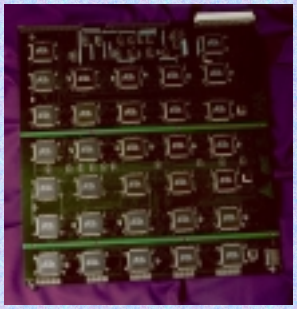
$$\frac{40.000.000}{16} = 2.500.000$$

Chip

- 24 unità di ricerca
- Prova 24 · 2.500.000 = 60.000.000 chiavi al sec.
- Prova tutte le chiavi in 13.900 giorni (≈38 anni)

Board

- 64 chip
- 32 per faccia
- 40 cm X 40 cm
- Prova 64 · 60.000.000 = 3.840.000.000 chiavi al sec.
- Prova tutte le chiavi in ≈218 giorni



Chassis

- 12 schede
- Prova 12 · 3.840.000.000 = 46.080.000.000 chiavi al sec.
- Prova tutte le chiavi in ≈18 giorni

DES 30

EFF DES Cracker

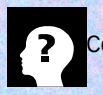
DES 31

Prestazioni

Device	Quanti nella prossima device	Chiavi/sec	Num. medio Giorni per ricerca
Unità di ricerca	24	2.500.000	166.800
Chip	64	60.000.000	6.950
Board	12	3.840.000.000	109
Chassis	2	46.080.000.000	9,05
EFF DES Cracker		92.160.000.000	4,524

DES 32

Modalità operative del DES



Come cifrare testi più lunghi di 64 bit?

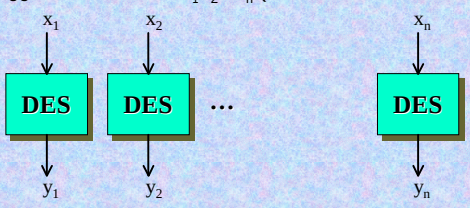
- Electronic codebook chaining (ECB)
- Cipher block chaining (CBC)
- Cipher feedback (CFB)
- Output feedback (OFB)

NBS FIPS PUB 46, DES modes of operation, National Bureau of Standards, 1977

DES 33

Electronic codebook chaining (ECB)

messaggio in chiaro $x = x_1x_2...x_n$ (diviso in blocchi di 64 bit)

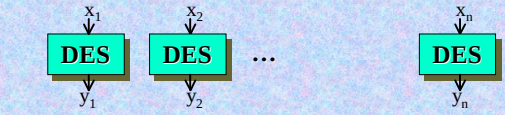


messaggio cifrato $y = y_1y_2...y_n$

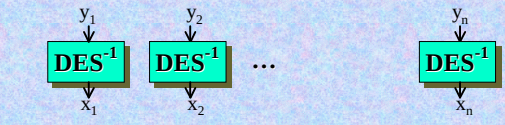
DES 34

Electronic codebook chaining (ECB)
decifratura

cifratura



decifratura



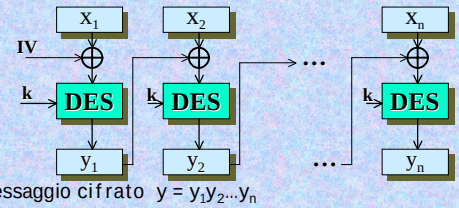
DES 35

Electronic codebook chaining (ECB)

- Se la lunghezza del messaggio non è multiplo di 64?
  Possibile soluzione: Padding con 100…00
- L'ECB è il metodo più veloce
- Eventuali errori non si propagano
- Non c'è dipendenza tra i blocchi
  - Possibili attacchi di sostituzione
  - Ridondanza testo in chiaro

Cipher Block Chaining (CBC)

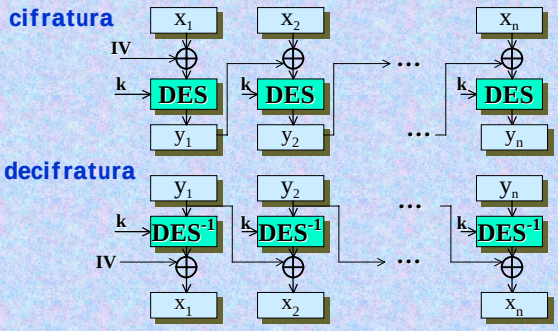
messaggio in chiaro $x=x_1x_2...x_n$ (diviso in n blocchi di 64 bit)



messaggio cifrato $y = y_1y_2...y_n$

vettore di inizializzazione IV di solito pubblico,
(potrebbe anche essere scelto a caso e tenuto nascosto)

Cipher Block Chaining (CBC)
decifratura



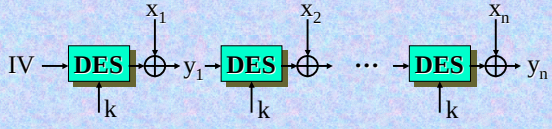
Cipher Block Chaining (CBC)

- Meno veloce dell'ECB
- Propagazione errori
- C'è dipendenza tra i blocchi

  Non possibili attacchi di sostituzione

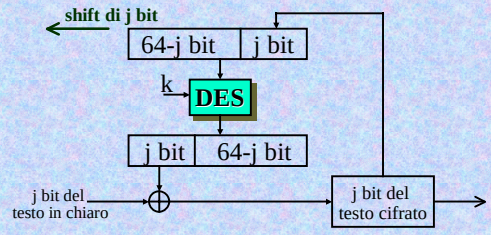
Cipher feedback (CFB)

messaggio in chiaro $x=x_1x_2...x_n$ (diviso in n blocchi di 64 bit)



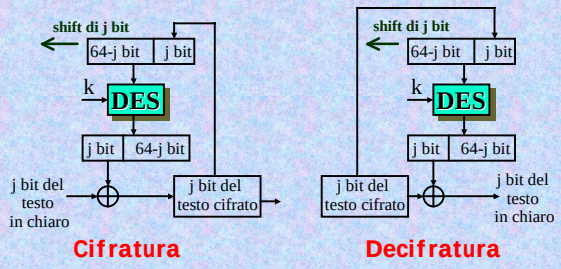
messaggio cifrato $y = y_1y_2...y_n$

j-bit Cipher feedback



Si inizia cifrando IV

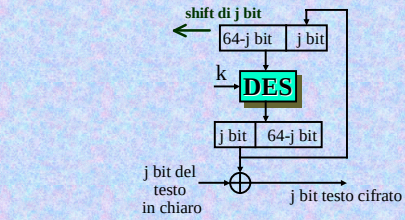
j-bit Cipher feedback
decifratura



j-bit Cipher feedback

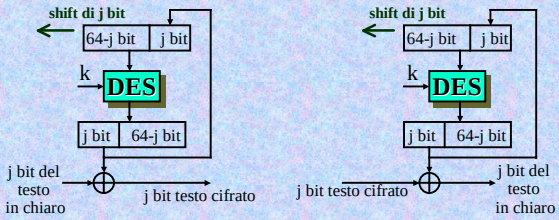
- j può essere scelto a piacimento, ad es. j=8
- Si possono utilizzare j bit cifrati senza aspettarne 64
- Più lento al decrescere di j

j-bit Output feedback

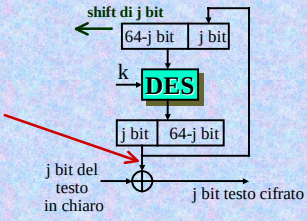


Si inizia cifrando IV

j-bit Output feedback
decifratura

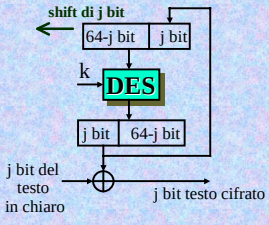


j-bit Output feedback



I valori input allo xor possono essere precomputati

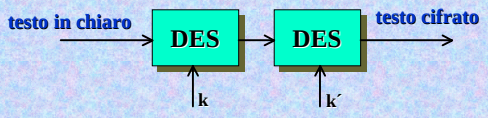
j-bit Output feedback



Se la stessa chiave e lo stesso IV vengono usati per diversi OFB, la *keystream* è la stessa!

IV deve essere cambiato se si usa la stessa chiave

DES Doppio

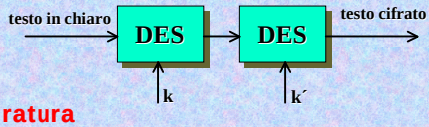


Cifratura

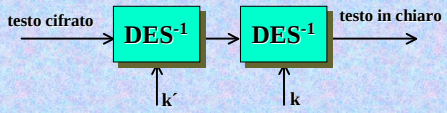
lunghezza blocco = 64 bit
chiave (k, k´) lunga 56+56 = 112 bit

DES Doppio

Cifratura



Decifratura



Sicurezza DES doppio

Quanto è "sicuro" il DES doppio?

DES ≡ DES doppio ?

E' possibile che per ogni (k, k´) esiste k´´ tale che

$DES_{k''}(\cdot) = DES_{k'}(DES_{k}(\cdot))$

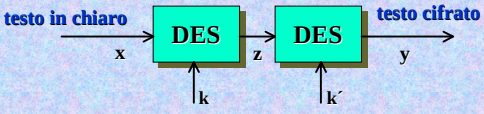
DES non forma un gruppo

- Ci sono $(2^{64})! > 10^{347.380.000.000.000.000.000} > 10^{10^{20}}$ permutazioni per i 2^{64} input
- Ci sono solo 2^{56} permutazioni definite dal DES

L'insieme delle 2^{56} permutazioni definite dalle 2^{56} chiavi DES non è chiuso per composizione
(dimostrato solo nel 1992)

|Gruppo generato da composizione di DES| > 10^{2499}

DES Doppio: attacco *meet in the middle*



Known Plaintext Attack
Input: x, y = $DES_{k'}(DES_{k}(x))$
Costruisci tabella

chiave	testo cifrato
k"	$DES_{k"}(x)$
…	…

for $k_2 \in \{0,1\}^{56}$
do $z = DES^{-1}_{k_2}(y)$
if per qualche k_1, (k_1, z) è nella tabella
then return la chiave è (k_1,k_2)

DES Doppio: attacco *meet in the middle*

Known Plaintext Attack
Input: x, y = $DES_{k''}(DES_k(x))$
Costruisci tabella

chiave	testo cifrato
k''	$DES_{k''}(x)$
…	…

for $k_2 \in \{0,1\}^{56}$
do $z = DES^{-1}_{k_2}(y)$
if per qualche k_1, (k_1, z) è nella tabella
then return la chiave è (k_1,k_2)

Complessità spazio: 2^{56} righe nella tabella
Complessità tempo: 2^{57} cifrature + 2^{56} ricerche in tabella

O(1) se tabella hash
56 se array ordinato

DES Doppio: attacco *meet in the middle*

L'output (k_1,k_2) è sicuramente la chiave cercata?

DES Doppio: attacco *meet in the middle*

Dato x, y qual'è il numero medio di chiavi (k_1,k_2) tali che
$y = DES_{k_2}(DES_{k_1}(x))$

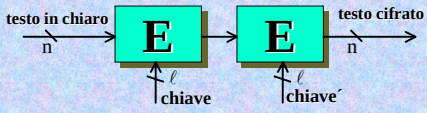
DES Doppio: attacco *meet in the middle*

Dato x, y, qual è il numero medio di chiavi (k_1,k_2) tali che
$y = DES_{k_2}(DES_{k_1}(x))$

Fissato x, ci sono 2^{112} chiavi e 2^{64} testi cifrati y

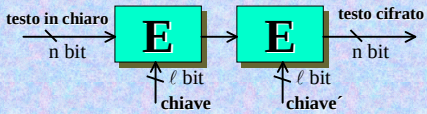
$$\frac{\#\text{chiavi}}{\#\text{y per fissato x}} = \frac{2^{112}}{2^{64}} = 2^{48}$$

Doppia cifratura



Cifrario a blocchi casuale: dati n ed ℓ, scegli a caso 2^ℓ permutazioni tra le $(2^n)!$ possibili su 2^n elementi, ed associale con le 2^ℓ chiavi

Doppia cifratura



Dato x, y il numero medio di chiavi (k_1,k_2) tali che
$y = E_{k_2}(E_{k_1}(x))$
è
$2^{2\ell-n}$

DES Doppio: attacco *meet in the middle*

Known Plaintext Attack

Input: $x, y = DES_{k'}(DES_k(x))$
$x', y' = DES_{k'}(DES_k(x'))$

chiave	testo cifrato
k"	$DES_{k"}(x)$
…	…

Costruisci tabella
for $k_2 \in \{0,1\}^{56}$
do $z = DES^{-1}_{k_2}(y)$
if per qualche k_1, (k_1, z) è nella tabella
e $y' = DES_{k_2}(DES_{k_1}(x'))$
then return la chiave è (k_1,k_2)

DES Doppio: attacco *meet in the middle*

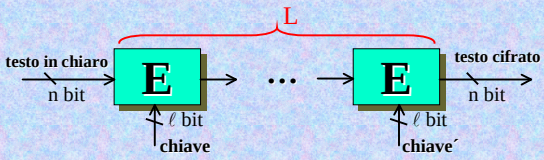
Dato x, y, x´, y´ qual è il numero medio di chiavi (k_1,k_2) tali che

$y = DES_{k_2}(DES_{k_1}(x))$
$y' = DES_{k_2}(DES_{k_1}(x'))$

Fissati x, x´, ci sono 2^{112} chiavi e 2^{128} testi cifrati y, y´

$$\frac{\#\text{chiavi}}{\#y,y' \text{ per fissati } x,x'} = \frac{2^{112}}{2^{128}} = 2^{-16}$$

Cascata con L-stadi di un cifrario



Dati $x_i,y_i,\dots, x_t,y_t$ il numero medio di chiavi $(k_1,k_2,\dots,k_L)$ tali che

$y_i = E_{k_L}(\dots E_{k_2}(E_{k_1}(x_i)))$

è

$2^{L\ell - tn}$

DES Doppio: attacco *meet in the middle*

- Tradeoff tempo-memoria
- Indovino i primi s bit di k, $0 \le s \le 56$
- 2^s tabelle di 2^{56-s} righe

Complessità spazio: 2^{56-s} righe nella tabella

Complessità tempo: $\underbrace{2^s 2^{56-s}}_{2^{56}}$ cifrature + $\underbrace{2^s 2^{56}}_{2^{56+s}}$ ricerche in tabella

SPAZIO * TEMPO ≈ 2^{112}

DES Doppio: attacco *meet in the middle*

Known Plaintext Attack

Input: $x, y = DES_{k'}(DES_k(x))$
$x', y' = DES_{k'}(DES_k(x'))$

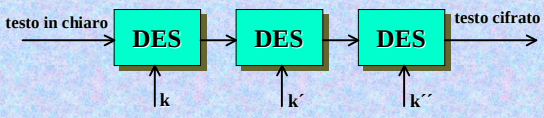
chiave	testo cifrato
k" = uv	$DES_{k"}(x)$
…	…

for $u \in \{0,1\}^s$
Costruisci tabella per $v \in \{0,1\}^{56-s}$
for $k_2 \in \{0,1\}^{56}$
do $z = DES^{-1}_{k_2}(y)$
if per qualche k_1, (k_1, z) è nella tabella
e $y' = DES_{k_2}(DES_{k_1}(x'))$
then return la chiave è (k_1,k_2)

Complessità spazio: 2^{56-s} righe nella tabella
Complessità tempo: $2^s 2^{56-s}$ cifrature + $2^s 2^{56}$ ricerche in tabella

SPAZIO * TEMPO ≈ 2^{112}

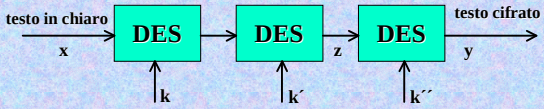
DES Triplicato



Cifratura

- lunghezza blocco = 64 bit
- chiave (k, k´,k´´) lunga 56 + 56 + 56 = 168 bit

DES Triplicato: attacco *meet in the middle*



Known Plaintext Attack
Input: x, y = $DES_{k''}(DES_{k'}(DES_k((x)))$
Costruisci tabella
for $k_3 \in \{0,1\}^{56}$
do $z = DES^{-1}_{k_3}(y)$
if per qualche k_1,k_2, (k_1k_2, z) è nella tabella
then return la chiave è (k_1,k_2,k_3)

chiave	testo cifrato
(k''',k'''')	$DES_{k'''}(DES_{k''''}(x))$
…	…

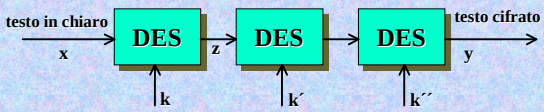
DES Triplicato: attacco *meet in the middle*

Known Plaintext Attack
Input: x, y = $DES_{k''}(DES_{k'}(DES_k((x)))$
Costruisci tabella
for $k_3 \in \{0,1\}^{56}$
do $z = DES^{-1}_{k_3}(y)$
if per qualche k_1,k_2, (k_1k_2, z) è nella tabella
then return la chiave è (k_1,k_2,k_3)

chiave	testo cifrato
(k''',k'''')	$DES_{k'''}(DES_{k''''}(x))$
…	…

Complessità spazio: 2^{112} righe nella tabella
Complessità tempo: $2^{112}+2^{56}$ cifrature + 2^{56} ricerche in tabella

DES Triplicato: attacco *meet in the middle*



Known Plaintext Attack
Input: x, y = $DES_{k''}(DES_{k'}(DES_k((x)))$
Costruisci tabella
for $k_3,k_2 \in \{0,1\}^{56}$ X $\{0,1\}^{56}$
do $z = DES^{-1}_{k_2}(DES^{-1}_{k_3}(y))$
if per qualche k_1, (k_1, z) è nella tabella
then return la chiave è (k_1,k_2,k_3)

chiave	testo cifrato
k'''	$DES_{k'''}(x)$
…	…

DES Triplicato: attacco *meet in the middle*

Known Plaintext Attack
Input: x, y = $DES_{k''}(DES_{k'}(DES_k((x)))$
Costruisci tabella
for $k_3,k_2 \in \{0,1\}^{56}$ X $\{0,1\}^{56}$
do $z = DES^{-1}_{k_2}(DES^{-1}_{k_3}(y))$
if per qualche k_1, (k_1, z) è nella tabella
then return la chiave è (k_1,k_2,k_3)

chiave	testo cifrato
k'''	$DES_{k'''}(x)$
…	…

Complessità spazio: 2^{56} righe nella tabella
Complessità tempo: $2^{56}+2^{112}$ cifrature + 2^{112} ricerche in tabella

DES Triplo: attacco *meet in the middle*

Complessità *Known Plaintext Attack* $\approx 2^{112}$

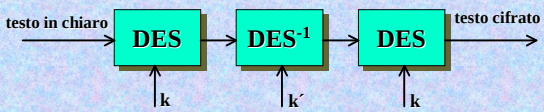
Ricerca esaustiva su tutte le chiavi $\approx 2^{112}$

DES Triplicato: attacco *meet in the middle*

Complessità *Known Plaintext Attack* $\approx 2^{112}$

"Equivalente" ad un cifrario con una chiave di 112 bit, e non 168 bit

DES Triplo

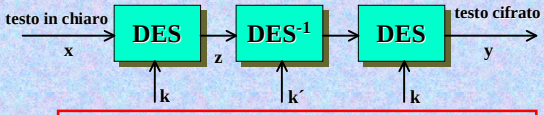


Cifratura

- lunghezza blocco = 64 bit
- chiave (k, k´) lunga 56+56 = 112 bit
- spesso chiamato $EDE_{k,k'}$ (acronimo per Encrypt Decrypt Encrypt)
- adottato negli standard X9.17 e ISO 8732

DES 72

DES Triplo: attacco *meet in the middle*



Known Plaintext Attack
Input: x, y = $DES_k(DES^{-1}_{k'}(DES_k((x)))$
Costruisci tabella
for $k_1,k_2 \in \{0,1\}^{56}$ X $\{0,1\}^{56}$
do $z = DES_{k_2}(DES^{-1}_{k_1}(y))$
if (k_1, z) è nella tabella
then return la chiave è (k_1,k_2)

chiave	testo cifrato
k"	$DES_{k"}(x)$
…	…

DES 73

DES Triplo: attacco *meet in the middle*

Known Plaintext Attack
Input: x, y = $DES_k(DES^{-1}_{k'}(DES_k((x)))$
Costruisci tabella
for $k_1,k_2 \in \{0,1\}^{56}$ X $\{0,1\}^{56}$
do $z = DES_{k_2}(DES^{-1}_{k_1}(y))$
if (k_1, z) è nella tabella
then return la chiave è (k_1,k_2)

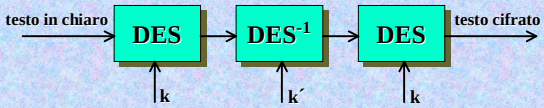
chiave	testo cifrato
k"	$DES_{k"}(x)$
…	…

Complessità spazio: 2^{56} righe nella tabella
Complessità tempo: $2^{56}+2^{112}$ cifrature + 2^{112} ricerche in tabella

DES 74

Compatibilità DES Triplo e DES

Se k = k´ il DES triplo

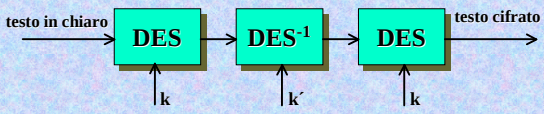


è equivalente al semplice DES

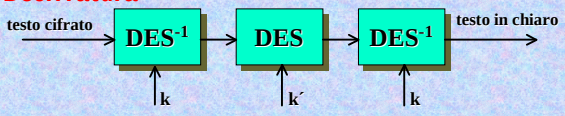
DES 75

Decifratura DES Triplo

Cifratura



Decifratura



DES 76