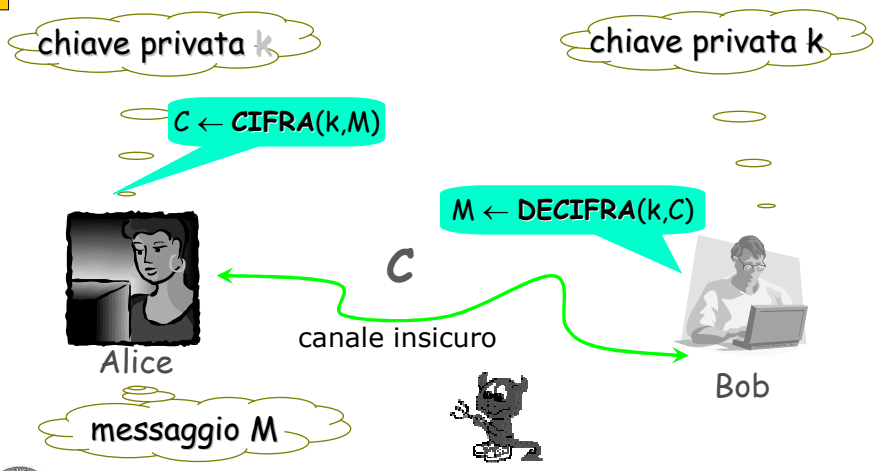
Crittoanalisi

Barbara Masucci

Dipartimento di Informatica ed Applicazioni
Università di Salerno

masucci@dia.unisa.it
http://www.dia.unisa.it/professori/masucci

Cifrari simmetrici



Principio di Kerckhoffs

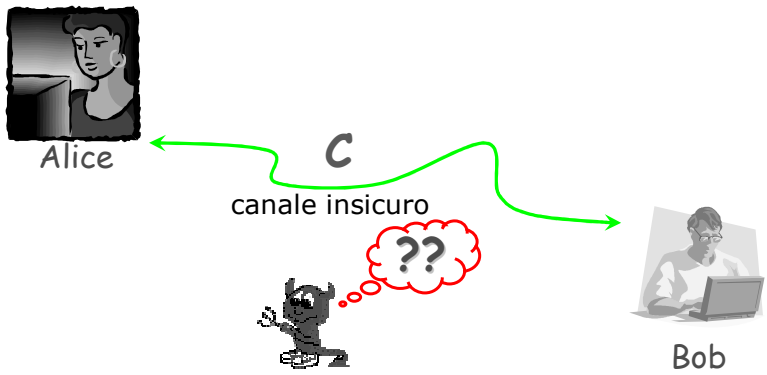
La sicurezza di un crittosistema deve dipendere
solo dalla segretezza della chiave e
non dalla segretezza dell'algoritmo usato.

Jean Guillaume Hubert Victor Francois Alexandre Auguste Kerckhoffs von Nieuwenhof (1835-1903), filologo olandese,
"La Criptographie Militarie" [1883]

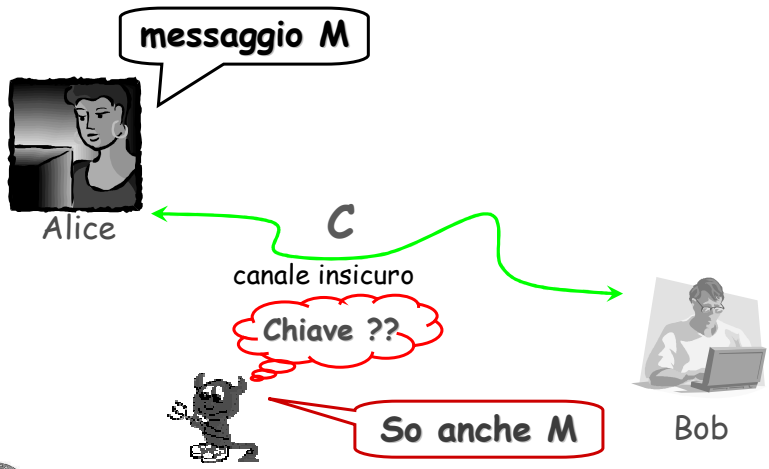
Crittoanalisi

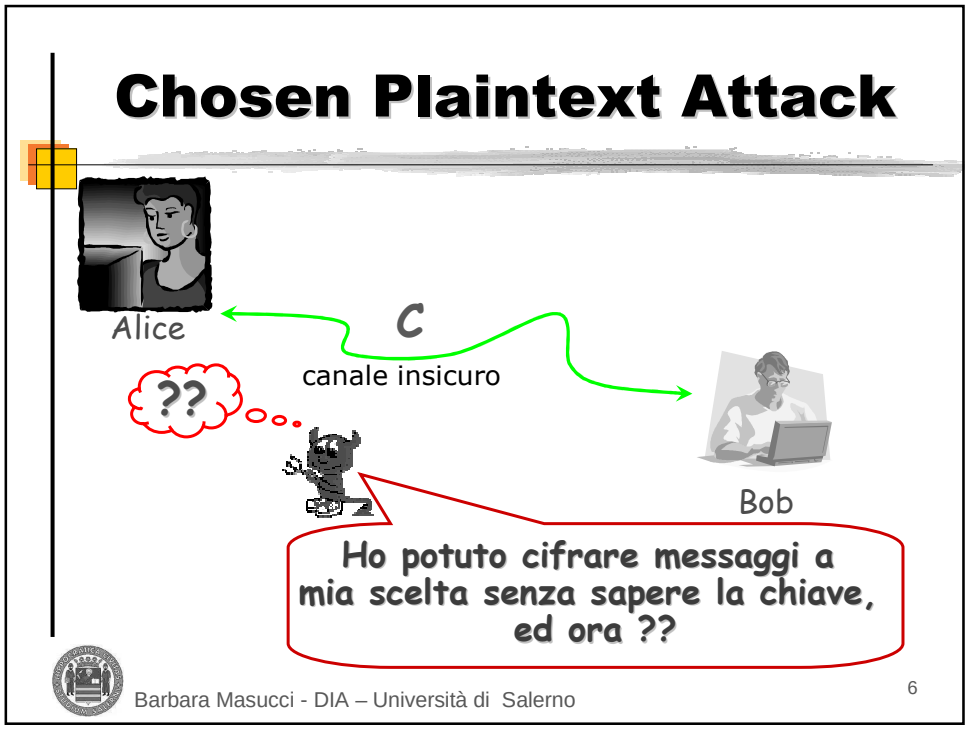
- Known Ciphertext Attack
- Known Plaintext Attack
- Chosen Plaintext Attack
- Chosen Ciphertext Attack

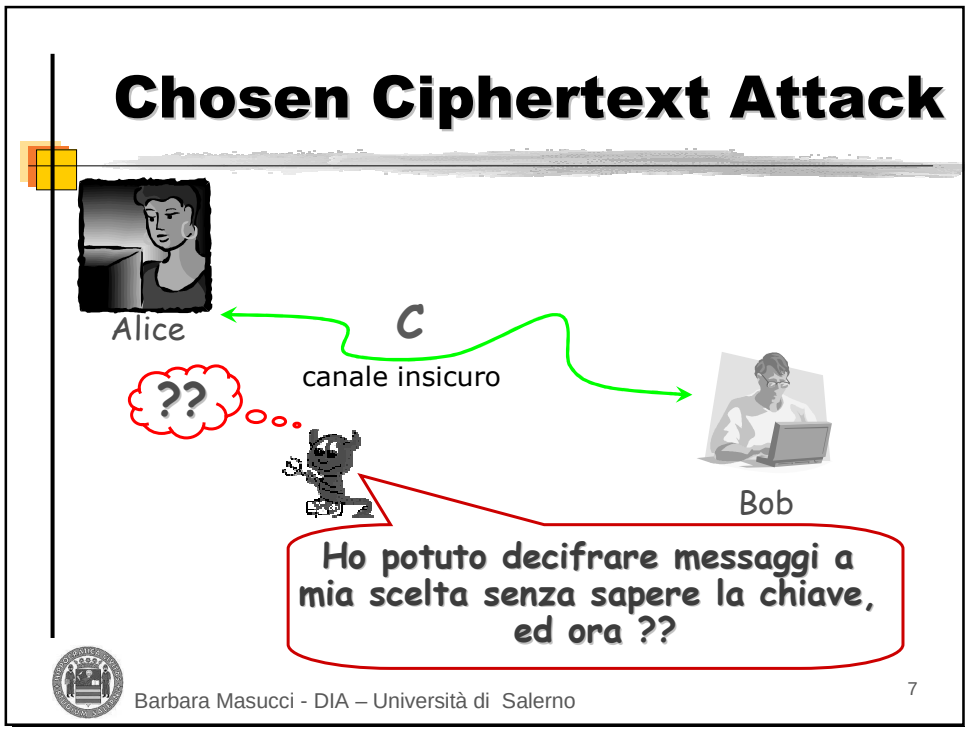
Known Ciphertext Attack



Known Plaintext Attack




Chosen Plaintext Attack
Alice
C
canale insicuro
??
Bob
Ho potuto cifrare messaggi a mia scelta senza sapere la chiave, ed ora ??
Barbara Masucci - DIA – Università di Salerno
6


Chosen Ciphertext Attack
Alice
C
canale insicuro
??
Bob
Ho potuto decifrare messaggi a mia scelta senza sapere la chiave, ed ora ??
Barbara Masucci - DIA – Università di Salerno
7

Cifrario di Vigenère

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

testo in chiaro $M = M_0M_1M_2\ldots M_n$ → $C_i \leftarrow M_i + K_{i \bmod t} \bmod 26$ → testo cifrato $C = C_0C_1C_2\ldots C_n$

chiave $K = K_0K_1K_2\ldots K_{t-1}$

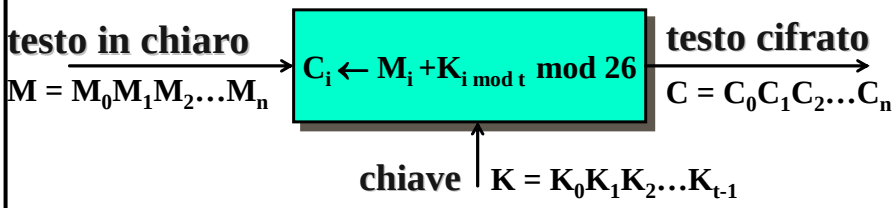
Testo in chiaro: CODICE MOLTO SICURO Chiave: REBUS

CODIC	EMOLT	OSICU	RO	testo in chiaro
REBUS	REBUS	REBUS	RE	chiave
TSECU	VQPFL	FWJWM	IS	testo cifrato

Quadrato di Vigenère

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
A	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
B	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
C	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
D	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
E	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
F	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
G	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
H	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
I	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
J	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
K	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
L	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
M	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
N	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
O	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
P	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Q	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
R	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
S	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
T	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
U	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
V	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
W	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
X	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Y	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Z	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y

Cifrario di Vigenère



- Considerato inviolabile per molto tempo
- Numero possibili chiavi = $26^{\dagger}$
- Crittoanalisi: Known Ciphertext Attack

Cifrario di Vigenère

- Resiste all'analisi delle frequenze
  - Una lettera cifrata corrisponde a più simboli in chiaro
  - Esiste un numero grande di chiavi
- Babbage (1834) e Kasiski (1863) furono i primi a cimentarsi nella crittoanalisi
  - Studio delle ripetizioni per individuare la lunghezza della chiave
  - Analisi delle frequenze in ognuno degli alfabeti cifranti corrispondenti alle lettere della chiave

Test di Kasiski

Friedrich Kasiski [1863]

testo cifrato ...WPIXFGHDAFNV TV... KLXFGLQ

Test di Kasiski

Friedrich Kasiski [1863]

testo cifrato ...WPIXFGHDAFNV TV... KLXFGLQ

XFG cifra lo stesso testo in chiaro!

Test di Kasiski

Friedrich Kasiski [1863]

testo cifrato …WPIXFGHDAFNV TV… KLXFGLQ

XFG cifra lo stesso testo in chiaro!
La distanza tra le "X" è un multiplo di t

Test di Kasiski

Friedrich Kasiski [1863]

testo cifrato …WPIXFGHDAFNV TV… KLXFGLQ

XFG cifra lo stesso testo in chiaro!
La distanza tra le "X" è un multiplo di t

Siano $d_1, d_2, \ldots, d_h$ le distanze tra le "X" di "XFG"
allora $\gcd(d_1, d_2, \ldots, d_h)$ è multiplo di t

Test di Kasiski

- Consente solo di determinare la lunghezza della chiave, ma non i caratteri che la compongono
- Vedremo un altro metodo, basato su statistiche relative al testo cifrato, per
  - Determinare la lunghezza della chiave
    - Indice di coincidenza
  - Determinare i caratteri della chiave
    - Indice mutuo di coincidenza

Indice di coincidenza

Definito da Wolfe Friedman [1920]

Indice di coincidenza di una stringa $x_1x_2...x_n$

$IC(x_1x_2...x_n)$ = probabilità che due caratteri, presi a caso in $x_1x_2...x_n$, siano uguali

Indice di coincidenza

Definito da Wolfe Friedman [1920]

Indice di coincidenza di una stringa $x_1x_2...x_n$

$IC(x_1x_2\ldots x_n)$ = probabilità che due caratteri, presi a caso in $x_1x_2\ldots x_n$, siano uguali

$$= \frac{\sum_{i=0}^{25}\binom{f_i}{2}}{\binom{n}{2}} = \frac{\sum_{i=0}^{25} f_i(f_i-1)}{n(n-1)}$$

f_i = numero occorrenze carattere i nella stringa $x_1x_2\ldots x_n$

Indice di coincidenza

Definito da Wolfe Friedman [1920]

Indice di coincidenza di una stringa $x_1x_2...x_n$

$IC(x_1x_2\ldots x_n)$ = probabilità che due caratteri, presi a caso in $x_1x_2\ldots x_n$, siano uguali

Esempi: IC(MONO) = 1/6
IC(ALFA) = 1/6
IC(GAMMA) = 4/20 = 1/5

Indice di coincidenza

Se $x_1x_2\ldots x_n$ è un testo in Inglese

Allora $IC(x_1x_2\ldots x_n) \approx \sum_{i=0}^{25} p_i^{\,2} = 0.065$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
7,3	1,3	3,5	4,3	12,8	3,0	2,0	3,5	7,8	0,3	0,5	3,7	2,8	7,8	7,5	2,8	0,5	8,5	6,0	9,3	3,0	1,5	1,5	0,5	2,3	0,3
p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	p_{20}	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	p_{25}

p_i = probabilità carattere i in Inglese

Indice di coincidenza

Se $x_1x_2\ldots x_n$ è un testo in Inglese

Allora $IC(x_1x_2\ldots x_n) \approx \sum_{i=0}^{25} p_i^{\,2} = 0.065$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
7,3	1,3	3,5	4,3	12,8	3,0	2,0	3,5	7,8	0,3	0,5	3,7	2,8	7,8	7,5	2,8	0,5	8,5	6,0	9,3	3,0	1,5	1,5	0,5	2,3	0,3
p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	p_{20}	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	p_{25}

p_i = probabilità carattere i in Inglese

Se $x_1x_2\ldots x_n$ sono caratteri scelti a caso

Allora $IC(x_1x_2\ldots x_n) \approx \sum_{i=0}^{25} \left(\frac{1}{26}\right)^2 = 0.038$

Indice di coincidenza

Se $x_1x_2\ldots x_n$ è un testo in Italiano

Allora $IC(x_1x_2\ldots x_n) \approx \sum_{i=0}^{25} p_i^{\,2} = 0.075$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
10,3	0,9	4,3	3,8	12,6	0,8	2,0	1,1	11,6	0,0	0,0	6,6	2,6	6,6	8,7	3,2	0,6	6,7	6,1	6,1	3,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,9
p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	p_{20}	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	p_{25}

p_i = probabilità carattere i in Italiano

Se $x_1x_2\ldots x_n$ sono caratteri scelti a caso

Allora $IC(x_1x_2\ldots x_n) \approx \sum_{i=0}^{25} \left(\frac{1}{26}\right)^2 = 0.038$

t = 1 ?

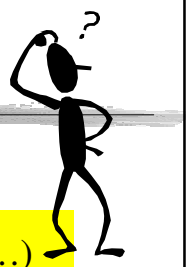
testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

Se $t = 1$ allora $IC(C_0C_1\ldots C_n) = IC(M_0M_1\ldots M_n)$

$$IC(C_0C_1\ldots C_n) \approx \begin{cases} 0.075 & \text{se } t=1 \\ 0.038 & \text{se } t\neq 1 \end{cases}$$

Non proprio!
Comunque lontano da 0.075

t = 2 ?



testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

Se $t = 2$ allora $IC(C_0C_2\ldots) = IC(M_0M_2\ldots)$
$IC(C_1C_3\ldots) = IC(M_1M_3\ldots)$

$$IC(C_0C_2\ldots) \approx IC(C_1C_3\ldots) \approx \begin{cases} 0.075 & \text{se } t=2 \\ 0.038 & \text{se } t\neq 2 \end{cases}$$

Comunque lontano da 0.075

t = 3 ?

testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

Se $t = 3$ allora $IC(C_0C_3\ldots) = IC(M_0M_3\ldots)$
$IC(C_1C_4\ldots) = IC(M_1M_4\ldots)$
$IC(C_2C_5\ldots) = IC(M_2M_5\ldots)$

$$IC(C_0C_3\ldots) \approx IC(C_1C_4\ldots) \approx IC(C_2C_5\ldots) \approx \begin{cases} 0.075 & \text{se } t=3 \\ 0.038 & \text{se } t\neq 3 \end{cases}$$

Comunque lontano da 0.075

Esempio

RLEYFBDOQSMCATCEZCBAPTHRJPCGRONVZMCHZOEBPKRNRVVCNHFEEACOZNGS
SIOGHFUIZCOKIGIUKONGFEIRUPCFVOTVCBBERDRZMFSCCSXEESFUEYFJVNGF
BIEQWRLEYZJMIRBRLAFWBLNGFBKTBOSVSGFJEGRFTZENDSVNQSSTOEGPVFVU
VIAQWGZUZSUIAHBQIOZCOKOEWPRDRGUIARIORMCWBTOFHJVRNRBCLNZUIACO
SKERWMGOAHFTHRWWZCBBHZUAUFCEQIFIIISQRRPVFIEARBJAZQPIPVITVNFW
CZLROMCOPQIZODIFJTNHSRSSCSDAMWPEERGFXNVWMGUAHPZNPIJZLYOHFCRG
TREYOEUAEWDFMVBDZACSSIICWHCINFQFIACNVDVZBXOQCWVLRFJMENZMFNGO
ORNQCTZDVBVFVBZBJCVOOCAPEVRDVGUVNQSSJIRFBCLRBURRFWJENHCWZGBZ
GZEVBOLOIWTVNVZBTOFHJVRNTPIMNHBUAYRFGOFWUFDVHSVGECTJIGCSIEAH
JJCRBEVACDPXGVOURAQIFDOAHJTOAHJXUVZVEOQSUKOVZTRNZOSKIACMRLGF
PTOAJPTEYCNSAERBZLESTVGBBFUAVAPCTVQPTUMNPCIVBGZLNQIVIAJFIOYC
GRNACTFMVUMZAESBLNNGFXAGOMTHRBPEEPVJRLCFJDOISEVRYCQLRPVFJINR
JWRBBUVCBAFGEESTVMCWPUIFIMVMHFBUIZWMRNBQIVGHOSUAACBJEGHFETEW
PEEACOCOQWTTEEBBKOFHPRUAHBCCBBUIAFGFXNBWOHURZMRLHBHREIOTKATW

Indice di coincidenza

- t = 1 ? $IC(C_0C_1...C_n) = 0.045$

Indice di coincidenza

- t = 1 ? $IC(C_0C_1\ldots C_n) = 0.045$
- t = 2 ? $\begin{cases} IC(C_0C_2\ldots) = 0.0463 \\ IC(C_1C_3\ldots) = 0.0438 \end{cases}$

Indice di coincidenza

- t = 1 ? $IC(C_0C_1\ldots C_n) = 0.045$
- t = 2 ? $\begin{cases} IC(C_0C_2\ldots) = 0.0463 \\ IC(C_1C_3\ldots) = 0.0438 \end{cases}$
- t = 3 ? $\begin{cases} IC(C_0C_3\ldots) = 0.0431 \\ IC(C_1C_4\ldots) = 0.0459 \\ IC(C_2C_5\ldots) = 0.0456 \end{cases}$

Indice di coincidenza

- t = 1 ? $IC(C_0C_1...C_n) = 0.045$
- t = 2 ?
  - $IC(C_0C_2...) = 0.0463$
  - $IC(C_1C_3...) = 0.0438$
- t = 3 ?
  - $IC(C_0C_3...) = 0.0431$
  - $IC(C_1C_4...) = 0.0459$
  - $IC(C_2C_5...) = 0.0456$
- t = 4 ?
  - $IC(C_0C_4...) = 0.0448$
  - $IC(C_1C_5...) = 0.0421$
  - $IC(C_2C_6...) = 0.0495$
  - $IC(C_3C_7...) = 0.0437$

Indice di coincidenza

- t = 5 ?
  - $IC(C_0C_5...) = 0.0710$
  - $IC(C_1C_6...) = 0.0721$
  - $IC(C_2C_7...) = 0.0805$
  - $IC(C_3C_8...) = 0.0684$
  - $IC(C_4C_9...) = 0.0759$

Tutti vicini a 0.075

t = 5

Cifrario di Vigenère: Crittoanalisi

Determinare la lunghezza della chiave t
- uso dell'indice di coincidenza

Determinare il valore della chiave $K_0K_1K_2\ldots K_{t-1}$
- uso dell'indice mutuo di coincidenza
- K_0 usato per $C_0\, C_t\, C_{2t}\ldots$
- K_1 usato per $C_1\, C_{t+1}\, C_{2t+1}\ldots$
- …
- K_{t-1} usato per $C_{t-1}\, C_{2t-1}\, C_{3t-1}\ldots$

Indice mutuo di coincidenza

Indice mutuo di coincidenza di $x_1x_2\ldots x_n$ e $y_1y_2\ldots y_{n'}$

$IMC(x_1x_2\ldots x_n; y_1y_2\ldots y_{n'})$ = probabilità che un carattere in $x_1x_2\ldots x_n$, ed uno in $y_1y_2\ldots y_{n'}$, presi a caso, siano uguali

Indice mutuo di coincidenza

Indice mutuo di coincidenza di $x_1x_2...x_n$ e $y_1y_2...y_{n'}$

$IMC(x_1x_2\ldots x_n; y_1y_2\ldots y_{n'})$ = probabilità che un carattere in $x_1x_2\ldots x_n$, ed uno in $y_1y_2\ldots y_{n'}$, presi a caso, siano uguali

$$= \frac{\sum_{i=0}^{25} f_i \cdot f'_i}{n \cdot n'}$$

f_i = numero occorrenze carattere i in $x_1x_2...x_n$

f'_i = numero occorrenze carattere i in $y_1y_2...y_{n'}$

Indice mutuo di coincidenza

Indice mutuo di coincidenza di $x_1x_2...x_n$ e $y_1y_2...y_{n'}$

$IMC(x_1x_2\ldots x_n; y_1y_2\ldots y_{n'})$ = probabilità che un carattere in $x_1x_2\ldots x_n$, ed uno in $y_1y_2\ldots y_{n'}$, presi a caso, siano uguali

Esempi: IMC(CIA;CIAO) = 3/12 = 1/4

IMC(ALFA;GAMMA) = 4/20 = 1/5

Indice mutuo di coincidenza

Quale è il valore medio di IMC($C_0C_tC_{2t}$ …; $C_1C_{t+1}C_{2t+1}$…) ?

Indice mutuo di coincidenza

Quale è il valore medio di IMC($C_0C_tC_{2t}$ …; $C_1C_{t+1}C_{2t+1}$…) ?

- $C_0\,C_t\,C_{2t}$ … cifrato con chiave K_0
- $C_1\,C_{t+1}\,C_{2t+1}$ … cifrato con chiave K_1

Ad esempio, se $K_0=1$ e $K_1=4$

- Prob. *AA* nel cifrato = Prob. ZW nel testo in chiaro
- Prob. BB nel cifrato = Prob. AX nel testo in chiaro
- Prob. *CC* nel cifrato = Prob. BY nel testo in chiaro

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Indice mutuo di coincidenza

Quale è il valore medio di IMC($C_0C_tC_{2t}$ …; $C_1C_{t+1}C_{2t+1}$…) ?

- Prob. *AA* nel cifrato = $p_{-K_0}\, p_{-K_1}$
- Prob. BB nel cifrato = $p_{1-K_0}\, p_{1-K_1}$

Indice mutuo di coincidenza

Quale è il valore medio di IMC($C_0C_tC_{2t}$ …; $C_1C_{t+1}C_{2t+1}$…) ?

- Prob. *AA* nel cifrato = $p_{-K_0}\, p_{-K_1}$
- Prob. BB nel cifrato = $p_{1-K_0}\, p_{1-K_1}$
- Prob. *CC* nel cifrato = $p_{2-K_0}\, p_{2-K_1}$

Indice mutuo di coincidenza

Quale è il valore medio di IMC($C_0C_tC_{2t}$ …; $C_1C_{t+1}C_{2t+1}$…) ?

- Prob. *AA* nel cifrato = $p_{-K_0}\, p_{-K_1}$
- Prob. BB nel cifrato = $p_{1-K_0}\, p_{1-K_1}$
- Prob. *CC* nel cifrato = $p_{2-K_0}\, p_{2-K_1}$
- …

Dipende solo da k_0-k_1

$$IMC(C_0C_tC_{2t}\ldots; C_1C_{t+1}C_{2t+1}\ldots) \approx \sum_{i=0}^{25} p_{i-K_0}\, p_{i-K_1} = \sum_{h=0}^{25} p_h\, p_{h+(K_0-K_1)}$$

Indice mutuo di coincidenza

$$IMC(C_0C_tC_{2t}\ldots; C_1C_{t+1}C_{2t+1}\ldots) \approx \sum_{h=0}^{25} p_h\, p_{h+(K_0-K_1)} = \sum_{h=0}^{25} p_h\, p_{h-(K_0-K_1)}$$

Solo 14 valori possibili per il valor medio di IMC

Indice mutuo di coincidenza

valore di K_0-K_1	media IMC
0	0.065
1, 25	0.039
2, 24	0.032
3, 23	0.034
4, 22	0.044
5, 21	0.033
6, 20	0.036
7, 19	0.039
8, 18	0.034
9, 17	0.034
10, 16	0.038
11, 15	0.045
12, 14	0.039
13	0.043

K_0-K_1= 0 $\Rightarrow$ media IMC = 0.065

K_0-K_1≠ 0 $\Rightarrow$ media IMC ≤ 0.045

Inglese

Indice mutuo di coincidenza

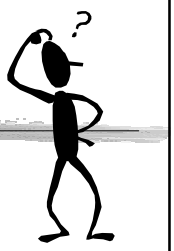
valore di K_0-K_1	media IMC
0	0.075
1, 25	0.033
2, 24	0.034
3, 23	0.034
4, 22	0.047
5, 21	0.027
6, 20	0.032
7, 19	0.026
8, 18	0.027
9, 17	0.023
10, 16	0.024
11, 15	0.027
12, 14	0.015
13	0.021

K_0-K_1= 0 $\Rightarrow$ media IMC = 0.075

K_0-K_1≠ 0 $\Rightarrow$ media IMC ≤ 0.047

Italiano

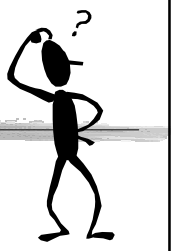
K_0-K_1= 0 ?



testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

Se K_0-K_1= 0 allora IMC($C_0C_t\ldots$; $C_1C_{t+1}\ldots$) ≈ 0.075

K_0-K_1= 0 ?



testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

Se K_0-K_1= 0 allora IMC($C_0C_t\ldots$; $C_1C_{t+1}\ldots$) ≈ 0.075

$$\text{IMC}(C_0C_t\ldots; C_1C_{t+1}\ldots) \begin{cases} \approx 0.075 & \text{se } K_0\text{-}K_1 = 0 \\ \approx < 0.047 & \text{se } K_0\text{-}K_1 \neq 0 \end{cases}$$

K_0-K_1= 1 ?

testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

K_0-K_1= 1 ?

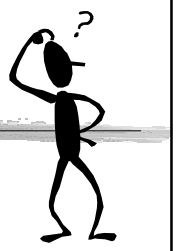
testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

$Y_i \leftarrow C_i - 1 \bmod 26$

Se K_0-K_1= 1 allora $IMC(Y_0Y_t\ldots; C_1C_{t+1}\ldots) \approx 0.075$

$$IMC(Y_0Y_t\ldots; C_1C_{t+1}\ldots) \begin{cases} \approx 0.075 & \text{se } K_0\text{-}K_1 = 1 \\ \approx< 0.047 & \text{se } K_0\text{-}K_1 \neq 1 \end{cases}$$

K_0-K_1= 2 ?



testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

K_0-K_1= 2 ?

$Y_i \leftarrow C_i$ -2 mod 26

testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

Se K_0-K_1= 2 allora $IMC(Y_0Y_t\ldots; C_1C_{t+1}\ldots) \approx 0.075$

$$IMC(Y_0Y_t\ldots; C_1C_{t+1}\ldots) \begin{cases} \approx 0.075 & \text{se } K_0\text{-}K_1 = 2 \\ \approx < 0.047 & \text{se } K_0\text{-}K_1 \neq 2 \end{cases}$$

K_0-K_1= 3 ?

testo cifrato $C_0C_1\ldots C_n$

$Y_i \leftarrow C_i$ -3 mod 26

Se K_0-K_1= 3 allora $IMC(Y_0Y_t\ldots; C_1C_{t+1}\ldots) \approx 0.075$

$$IMC(Y_0Y_t\ldots; C_1C_{t+1}\ldots) \begin{cases} \approx 0.075 & \text{se } K_0\text{-}K_1 = 3 \\ \approx< 0.047 & \text{se } K_0\text{-}K_1 \neq 3 \end{cases}$$

Determinare la chiave

K_0-K_1= 5
K_1-K_2= 6
K_2-K_3= 9
...
K_{t-2}-K_{t-1}= 5

t-1 equazioni in t incognite

Riesco ad esprimere tutti K_i in funzione di K_0 !

Determinare la chiave

K_0-K_1= 5
K_1-K_2= 6
K_2-K_3= 9
...
K_{t-2}-K_{t-1}= 5

t-1 equazioni in t incognite

Riesco ad esprimere tutti i K_i in funzione di K_0 !

Quanto vale K_0 ?

Determinare la chiave

K_0-K_1= 5
K_1-K_2= 6
K_2-K_3= 9
...
K_{t-2}-K_{t-1}= 5

t-1 equazioni in t incognite

Riesco ad esprimere tutti i K_i in funzione di K_0 !

Quanto vale K_0 ?

Provo tutti i possibili 26 valori !

Cifrario di Vigenère: Crittoanalisi

- Determinare la lunghezza della chiave t
  - uso dell'indice di coincidenza
- Determinare il valore della chiave $K_0K_1K_2…K_{t-1}$
  - calcolo delle differenze K_0-K_1, K_1-K_2 , …, K_{t-2}-K_{t-1}
    - uso dell'indice mutuo di coincidenza
  - calcolo di K_0: prova le 26 possibilità

Esempio: Determinare la chiave

K_1-K_0

.0325 .0415 .0422 .0436 .0385 .0444 .0388 .0390 .0347
.0350 .0404 .0315 .0419 .0398 .0370 .0380 .0703 .0314
.0346 .0356 .0436 .0269 .0327 .0298 .0381 .0371

Esempio: Determinare la chiave

K_1-K_0 = 16

.0325 .0415 .0422 .0436 .0385 .0444 .0388 .0390 .0347
.0350 .0404 .0315 .0419 .0398 .0370 .0380 .0703 .0314
.0346 .0356 .0436 .0269 .0327 .0298 .0381 .0371

K_2-K_0 = 25

.0326 .0341 .0345 .0365 .0245 .0367 .0284 .0393 .0394
.0373 .0358 .0432 .0439 .0399 .0382 .0363 .0334 .0315
.0355 .0449 .0384 .0518 .0403 .0313 .0370 .0738

Esempio: Determinare la chiave

K_3-K_0 = 12

.0380 .0407 .0370 .0381 .0295 .0330 .0415 .0361 .0423
.0411 .0330 .0411 .0705 .0364 .0324 .0361 .0460 .0301
.0321 .0316 .0397 .0355 .0354 .0423 .0390 .0403

K_4-K_0 = 13

.0401 .0393 .0379 .0353 .0345 .0273 .0357 .0461 .0371
.0439 .0420 .0288 .0412 .0737 .0352 .0350 .0401 .0401
.0328 .0387 .0311 .0403 .0368 .0348 .0370 .0340

K_2-K_1 = 9

.0361 .0328 .0311 .0389 .0334 .0533 .0355 .0390 .0286
.0741 .0328 .0437 .0325 .0415 .0272 .0406 .0284 .0378
.0428 .0382 .0446 .0380 .0463 .0358 .0395 .0260

K_3-K_1 = 22

.0465 .0302 .0369 .0320 .0391 .0410 .0361 .0488 .0354
.0447 .0351 .0440 .0297 .0429 .0318 .0309 .0336 .0327
.0442 .0347 .0362 .0328 .0721 .0344 .0412 .0318

Esempio: Determinare la chiave

K_4-K_1 = 23	.0355	.0419	.0339	.0436	.0320	.0408	.0423	.0371	.0470
	.0334	.0434	.0374	.0414	.0295	.0400	.0296	.0317	.0375
	.0328	.0434	.0355	.0322	.0314	.0711	.0330	.0415	
K_3-K_2 = 14	.0443	.0393	.0421	.0358	.0426	.0318	.0269	.0392	.0318
	.0378	.0321	.0363	.0372	.0724	.0348	.0354	.0342	.0533
	.0364	.0391	.0324	.0373	.0358	.0315	.0419	.0360	
K_4-K_2 = 13	.0353	.0453	.0415	.0367	.0310	.0374	.0296	.0307	.0446
	.0303	.0350	.0321	.0321	.0376	.0779	.0343	.0343	.0357
	.0470	.0397	.0478	.0344	.0388	.0369	.0329	.0399	
K_4-K_3 = 1	.0382	.0736	.0368	.0349	.0367	.0414	.0390	.0434	.0293
	.0336	.0420	.0351	.0427	.0329	.0388	.0361	.0427	.0327
	.0366	.0317	.0326	.0402	.0367	.0450	.0345	.0319	

Esempio: Determinare la chiave

K_0-K_1 = 10
K_0-K_2 = 1
K_0-K_3 = 14
K_0-K_4 = 13
K_1-K_2 = 17
K_1-K_3 = 4
K_1-K_4 = 3
K_2-K_4 = 12
K_2-K_3 = 13
K_3-K_4 = 25

Esempio: Determinare la chiave

K_0-K_1 = 10
~~K_0-K_2 = 1~~
~~K_0-K_3 = 14~~
~~K_0-K_4 = 13~~
K_1-K_2 = 17
~~K_1-K_3 = 4~~
~~K_1-K_4 = 3~~
~~K_2-K_4 = 12~~
K_2-K_3 = 13
K_3-K_4 = 25

Esempio: Determinare la chiave

K_0-K_1 = 10
~~K_0-K_2 = 1~~
~~K_0-K_3 = 14~~
~~K_0-K_4 = 13~~
K_1-K_2 = 17
~~K_1-K_3 = 4~~
~~K_1-K_4 = 3~~
~~K_2-K_4 = 12~~
K_2-K_3 = 13
K_3-K_4 = 25

$K_1 = K_0 - 10$
$K_2 = K_1 - 17 = K_0 - 1$
$K_3 = K_2 - 13 = K_0 - 14$
$K_4 = K_3 - 25 = K_0 - 13$

Esempio: Determinare la chiave

$K_1 = K_0 - 10$
$K_2 = K_1 - 17 = K_0 - 1$
$K_3 = K_2 - 13 = K_0 - 14$
$K_4 = K_3 - 25 = K_0 - 13$

$K_0 = 1$
$K_1 = 17$
$K_2 = 0$
$K_3 = 13$
$K_4 = 14$

B
R
A
N
O

Esempio: Testo in chiaro

QUELRAMODELLAGODICOMOCHEVOLGEAMEZZOGIORNOTRADUECATENENONINTE
RROTTEDIMONTITUTTOASENIEGOLFIASECONDADELLOSPORGEREEDELRIENTR
AREDIQUELLIVIENQUASIAUNTRATTOARESTRINGERSIEAPRENDERCORSOEFIG
URADIFIUMETRAUNPROMONTORIOADESTRAEUNAMPIACOSTIERADALLALTRAPA
RTEEILPONTECHEIVICONGIUNGELEDUERIVEPARCHERENDASAMCORPIUSENSI
BILEALLOCCHIOQUESTATRASFORMAZIONEESEGNIILPUNTOINCUIILLAGOCES
SAELADDARICOMINCIAPERRIPIGLIARPOINOMEDILAGODOVELERIVEALLONTA
NANDOSIDINUOVOLASCIANLACQUADISTENDERSIERALLENTARSIINNUOVIGOL
FIEINNUOVISENILACOSTIERAFORMATADALDEPOSITODITREGROSSITORRENT
ISCENDEAPPOGGIATAADUEMONTICONTIGUILUNODETTOILSANMARTINOLALTR
OCONVOCELOMBARDAILRESEGONEDAIMOLTICOCUZZOLIINFILACHEINVEROLO
FANNOSOMIGLIAREAUNASEGATALCHENONECHIALPRIMOVEDERLOPURCHESIAD
IFRONTECOMEPERESEMPIODISULEMURADIMILANOCHEGUARDANOASETTENTRI
ONENONLODISCERNATOSTOAUNTALCONTRASSEGNOINQUELLALUNGAEVASTAGI
OGAIADAGLIALTRIMONTIDINOMEPIUOSCUROEDIFORMAPIUCOMUNEPERUNBUO

Bibliografia

- Cryptography: Theory and Practice, by D. Stinson (1995)
  - cap. 1
- Tesina su crittografia classica
  - http://www.dia.unisa.it/professori/ads/
    - Sicurezza su reti, a.a. 1995-1996
- Codici e segreti, by S. Singh (1999)
  - cap. 2