



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1480A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Gemello

MATERIA: Tecnica della Sicurezza Ambientale + Eserc.
Prof. Demichela

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

$F = \lambda t$ ← NORMALMENTE X 1 ANNO
 ↳ $\lambda t < 0,7$

$U_{00} = \begin{cases} \lambda t = \lambda / \mu & \text{SE HO SPIE, RIPARABILI} \\ \lambda \theta / 2 & \text{SE FACCIAMO TEST} \\ \lambda t / 2 & \text{SE NON SO E SCOPRO IL GUASTO ALL'UTILIZZO} \end{cases}$

↳ POICHE' NON CRITICI

λ DATO (SU DISPENSE)

θ DATO O LO IPOTIZZO 6/6 MESI

PER L'ERRORE UMANO USO PROBABILITA' SU TABELLA (SE ALLARME C'E' TENSIONE UMANA IN +)

CASI TIPO MANCA H₂O, CORRENTE... SI ASSEGNA UNA PROBABILITA' IPOTETICA 10⁻² (1 VOLTA OGNI 100 ANNI) (DA SCRIVERE NELLE IPOTESI)

$E_7 = 0,508 \cdot 1$ 1 ANNO } NON INFERRIBILI DI 0,1 QUINDI DOBBIAMO USARE ESPONENZIALE } INAFFIDABILITA'

$E_8 = 0,2 \cdot 1$

$E_9 = 10^{-2}$ ← MANCA H₂O (IPOTESI)

$E_1 = 0,0259$

$E_4 = 0,026$

$E_3 = 0,39$

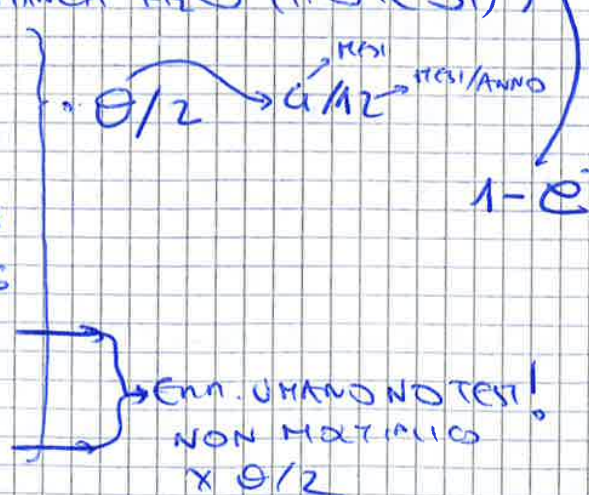
$E_6 (TSH) = 0,96$

$E_5 (TAH) = 0,96$

$E_{U2} = 0,001$

$E_2 = 0,214$

$E_{U1} = 0,001$



$E_1 = 0,0043$

$E_4 = 0,0043$

$E_6 = 0,065$

$E_3 = 0,16$

$E_5 = 0,16$

~~INDIPENDENTE~~

$E_U = 0,035 \cdot 67$

~~INDIPENDENTE~~

$E_7 = 0,3983$

$E_8 = 0,1813$

$T_E = 2,2 \cdot 10^{-7}$



ALBERO DEI GUASTI ↔ ALBERO DEGLI EVENTI

INSIEME INTERCONNESSO DI COMPONENTI INTERAG.

NO TRANSITORI → FUNZIONA / NON FUNZIONA (BINARIO)

RISCHIO ESPLOSIONE BINARIA → 2ⁿ COMBINAZ. POSSIBILI

LEGAMI LOGICI RAPPRESENTATI ESPLICITAMENTE

ESEMPIO: SIST. ANTINCENDIO

2 LINEE IN " → OGNUNA DELLE 2 PUO' SPEGNERE L'INCENDIO

TEMPO TROPPO BREVE X L'INTERVENTO DELL'OPERAT.

COSTRUIAMO ALBERO GUASTI

LOGICA DEDUTTIVA A PARTIRE DA UN TOP EVENT



AND



OR



INHIBIT → USATO X SIST. PROTEZIONE,

CHE SI ATTIVANO SE E SOLO SE

HO UNA CERTA DEVIATIONE

ORDINE TEMPORALE

SIST. PROTEZ.
IN STAND-BY



PRIORITY AND, X FAR AVVENIRE TUTTI SI DEVONO ROMPERE IN ORDINE



OR ESCLUSIVO, SI ATTIVA SE ACCADE UNO E UNO SOLO EVENTO



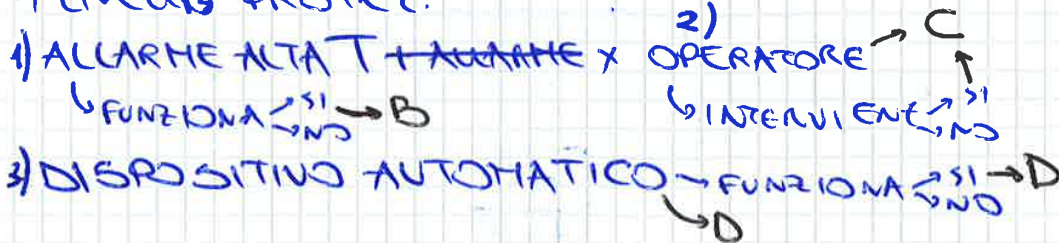
LOGICA MAGGIORITARIA

ES

REATT. CHIMICO

EVENTO INIZIATORE: PERDITA ACQUA RAFFREDDAM. $\rightarrow \bar{A}$
 \downarrow
 GUASTO

LIVELLI PROTEZ:



SONO TUTTI EVENTI IN SEQUENZA

\downarrow
 MOLTIPLICO TRA DI LORO PROBABILITA'

PROBAB. FUNZIONAM = 1 - PROB. NON FUNZIONAM.

SE \bar{B} (B NON FUNZIONA), C (OPERATORE) NON CONTA

TE VIENE SE $\leftarrow \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{D}$ O SE $\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$

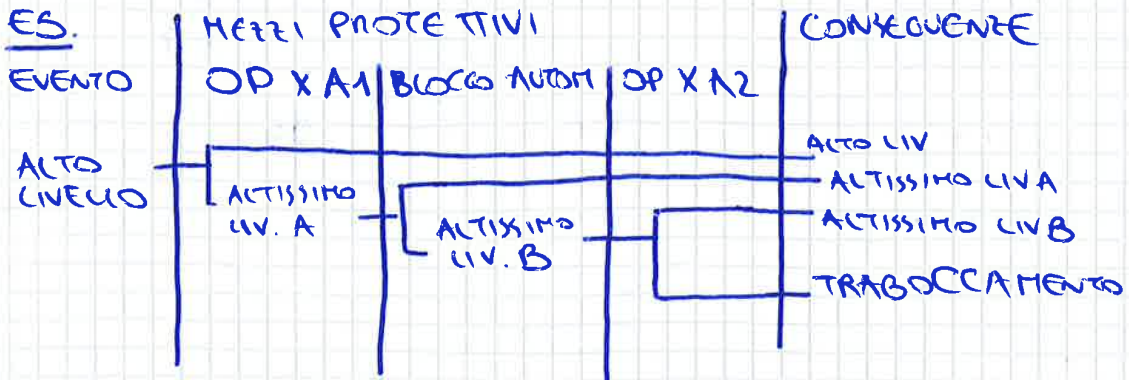
\downarrow CONDIZIONE DI PERICOLO

SE $\bar{A} \bar{B} \bar{C}$ (FUNZIONANO SIA ALLARME CHE OP) $\rightarrow D$ NON SERVE, HO CHR. SICUREZZA

$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$, $\bar{A} \bar{B} \bar{D} \Rightarrow$ INTERVENTO AUTOMATICO SALVA

SE COMPLESSO, OGNI LIVELLO HA UN ALBERO DEI GUASTI X VEDERE LA PROB. DI FUNZIONAMENTO

ES.



ESEERCITAZIONE - CALCOLO PROBAB. GUASTO



2 LUCI = TRA LORO
IN RIDONBANZA

$$\lambda_B (\text{BATERIA}) = 0,1 \text{ [1/MESE]}$$

$$\lambda_I (\text{INTERRUPT.}) = 0,05 \text{ "}$$

$$\lambda_L (\text{LUCE}) = 0,067 \text{ "}$$

T = 1 MESE

1) NO TEST

CALCOLARE

2) TEST OGNI 5 GIORNI

L'AFFIDABILITÀ

3) RIPARATO IN 24 h

PROBABILITÀ CHE LUCE SIA ACCESA?

SE SI ROMPE UNO FUNZIONA L'ALTRO

$$(F_{L1} + F_{B1} + F_{I1})(Q_{L2} + Q_{B2} + Q_{I2}) + Q = U$$

$$+ (F_{L2} + F_{B2} + F_{I2})(Q_{L1} + Q_{B1} + Q_{I1}) =$$

$$F_{L1} = F_{L2} = F_L \quad F_{B1} = F_{B2} = F_B \quad F_{I1} = F_{I2} = F_I \quad \leftarrow \text{AFFIDABILITÀ}$$

$$Q_{L1} = Q_{L2} = Q_L \quad Q_{B1} = Q_{B2} = Q_B \quad Q_{I1} = Q_{I2} = Q_I \quad \leftarrow \text{INDISPON.}$$

$$= 2(F_L + F_B + F_I)(Q_L + Q_B + Q_I)$$

USAMO FORMULE APPROX x F (NO ESPONENZIALI)

$$1) 2(\lambda_B + \lambda_I + \lambda_L)(\lambda_L/2 \cdot T + T\lambda_B/2 + T\lambda_I/2)$$

$$= 4,7 \cdot 10^{-2} \quad (T = 1 \text{ MESE})$$

$$2) 2T(\lambda_B + \lambda_I + \lambda_L) \left(\frac{\lambda_L \theta}{2} + \frac{\lambda_I \theta}{2} + \frac{\lambda_B \theta}{2} \right) = 7,85 \cdot 10^{-3}$$

$\theta = \text{TEMPO TEST} = 5 \text{ GG} / 30$

$$3) 2T(\lambda_B + \lambda_I + \lambda_L)(\lambda_L t_{\text{rip}} + \lambda_I t_{\text{rip}} + \lambda_B t_{\text{rip}}) = 3,16 \cdot 10^{-3}$$

E' IL + AFFIDABILE

PROGETTO

DOBBIAMO INDIVIDUARE LE AREE CRITICHE

- 1) ANALISI DEGLI EVENTI INDESIDERATI → ANALISI RICORSIVA
- 2) QUANTIFICAZIONE DELLE PROB. DI ACCADIMENTO
- 3) ANALISI DECISIONALE
DECIDO CHE

RIASSUNTO

PROGETTAZIONE SISTEMA ALLARME E BLOCCO

LIVELLI INDIPENDENTI TRA LORO → A CIRCOLA

- 1) PROGETTO IMPIANTO + SIST. CONTROLLO
- 2) ALLARMI CRITICI, INTERVENTO OPERATORE
- 3) SIST. PROTEZ. AUTOMATICO
- 4) SIST. " PASSIVA → RILASCIO
- 5) " " FISICA → BARRIERE
- 6) " DI EMERGENZA
- 7) RISP. ESTERNA ALL'EMERGENZA

PROTEZIONE

MATRICE RISCHIO:

| | | | | | | |
|---|---|-------|---|---|---|---|
| 4 | F | DANNO | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |

→ ARRIVARE A RISCHIO TOLLERABILE RIDUCENDO FINO A RISCHIO RESIDUO

ALLARMI

RILEVATORE + ANNUNCIATORE → LOCALE
→ A SALA DI CONTROLLO

DA ANALISI DEI RISCHI DECIDO DOVE SERVE
SIST. PROTEZ., POI CALCO PROBAB. DI ROTTURA
E PROVO FINO A QUANDO NON ARRIVO ALLA
DISPONIBILITA' RICHIESTA

∃ NORME X ≠ SETTORI

SE METTO 2 SENSORI IN RIDONDANZA IL SIST.
DI BLOCCO SI ATTIVA SOLO SE SEGNALE
DA ENTRAMBI, VS INTERVENTI SPURII

↑ SIL 1 ↘ LOGICA 2 SU 2

IN SIL 2 HO 2 SENSORI INDIPENDENTI CON
LOGICA 1 SU 2 CON 2 VALVOLE ON-OFF IN
// INDIPENDENTI

X ANDARE OLTRE ROSSO RIDONDARE INTERA LOGICA
↓
PROBL. COSTI-BENEFICI

SIL 2 VS INTERVENTI SPURII → LOGICA 2 SU 3
(CON 3 SENSORI E 2 ATTUATORI)

AUMENTANO COSTI E DISPONIBILITA'

SISTEMI PROTEZ. PASSIVA

∃ DISCHI DI ROTTURA O SPORTELLI DI SCOPPIO

VALVOLE DI SICUREZZA HANNO IL VANTAGGIO
CHE SI RICHIUDDONO

SCOPO: E' UN SERBATOIO POLMONE CHE COLLEGA DUE PEZZI DI IMPIANTO. FA UN ACCUMULO TEMPORANEO.

CONTROLLO DI LIVELLO EVITA CHE CI SIANO DERIVE DI LIVELLO, POI C'E' ANCHE UN'ALTRA PROTEZIONE IN CASO DI SOVRARIEMPIMENTO E POSSIBILITA' DI SVERSAMENTO

SIST. PUO' FUNZIONARE SENZA SIST. D'ALLARME, MA NON SENZA SIST. DI REGOLAZIONE (ES: POMPE)

DISTINZIONE TRA ELEMENTI IN ESERCIZIO E IN PROTEZIONE

↓
NON ESERCITANO IN CONDIZ. NORMALI (ES: RUOTA DI SCORTA)

↓
DISPONIBILITA'
DEVONO ESSERE FUNZIONANTI QUANDO NE HO BISOGNO

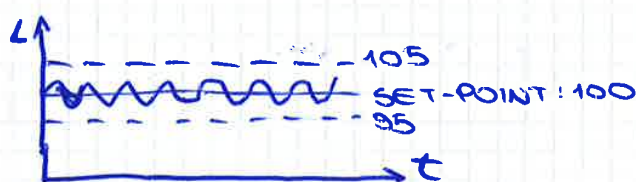
↓
LAVORO CONTINUAMENTE (ES: 4 RUOTE AUTO)

↓
AFFIDABILITA'

BISOGNA SPESORE RAGIONARE A GRUPPI DI COMON, NON SUL SINGOLO COMPONENTE

IL T-1 SVOLGE UN'AZIONE SIA X IL CONTROLLO SIA X L'ALLARME)
E' IN ESERCIZIO PERCHE FA PARTE DEL SISTEMA DI REGOLAZIONE

MISSIONE = CONTROLLO LIVELLO



↑
ATTORNO A SP
OSCILLAZ. DOVUTE A
COSA SUCCEDDE A
MONTE

SI DIVIDE L'IMPIANTO IN SOTTOSISTEMI

| FUNZIONE LOGICA | COMPONENTI | VAR. MISURATA | VAR. CONTROLL. | VAR. MANIPOLATA |
|------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| LC (LEVEL CONTROL) | V-2 LRC V-1 T-1 P-1 | 3.2 P (PRESS SUL FONDO) | 3.2 L (LIVELLO) | 3.3 F (PORTATA IN USCITA) |
| AA (ALLARME ALTO LIVELLO) | V-2 T-1 HLA A1 V-3 OP → OPERA- TORE | 3.2 P / SERBAT. | 3.2 L / SOTTO INSIEME | 3.1 F (LINEA IN INGRESSO) |

V-2 (VALVOLA) E' UN TRASDUTTORE DI PRESSIONE, C'E' UN ELEMENTO PIEZOELETTRICO SENSIBILE ALLA PRESSIONE: DEVE ESSERE SOTTOPOSTO ALLA PRESSIONE DEL FLUIDO. NON CONVIENE MONTARE SENSORE FILETTANDOLO IN UN BUCO DEL SERBATOIO, PERCHE' SENNO' BISOGNA SVUOTARE SERB. X TOGLIERE IL SENSORE. METTENDO INVECE IN UN TUBICINO ESTERNO E' + FACILE SMONTARE SENSORE, X QUESTO C'E' LA VALVOLA

SI USA P X DETERMINARE IL LIVELLO

SENSORE E' IMPORTANTE: SE SI ROMPE NON FUNZIONA + LC

RESTA SOLO LA SPINTA DELLA MOLLA VS L'ALTO,
VALVOLE RESTA APERTA → FAIL OPEN

SE FACCIO ENTRARE ARIA DA SOTTO E MOLLA DA
SOPRA → FAIL CLOSE

SCELGO IN BASE A COSA VOGLIO IN CASO DI
ROTTURA:

* FAIL OPEN ⇒ CENTRALE METANO

* FAIL CLOSE ⇒ SERBATOIO NOSTRO (ANTI SVUOTAM.)

TRA I COMPONENTI DEL SIST. DI PROTEZIONE
DEVO METTERE ANCHE L'OPERATORE, E SAPERE
COSA DEVE FARE E QUALI SONO LE PROBABILITA'
DEL SUO SUCCESSO. ALLARME

SERVE UNA PROCEDURA SCRITTA: SERVE AL SUCCESSO,
COSÌ COME LA FORMAZIONE

QUI X ESEMPIO OPERATORE PUÒ CHIUDERE V-3
(D'INGRESSO) → QUESTA VALVOLE DIVENTA IMPOR-
TANTE IN FASE DI PROTEZIONE → DEVE ESSERE
FACILMENTE REGOLABILE (NON GUASTA) E
INDIVIDUABILE

VALVOLE COME V-3 POCO USATE SI BLOCCANO
SPESSE, FACCIO CONTROLLI OGNI TOT MESI

DEVIATIONI = GENERATE DAL MALFUNZIONAMENTO DEL
SIST. DI REGOLAZIONE, DI UNA LOGICA DI REGOLAZ.

↓
MALFUNZIONAMENTO LC CAUSA VARIAZ. LIVELLO

NOME DEVIATIONE INVENTATO DALL'ANALISI, MA DEVE
ESSERE COMPRESIBILE → ES: 3.2 ALTO LIVELLO

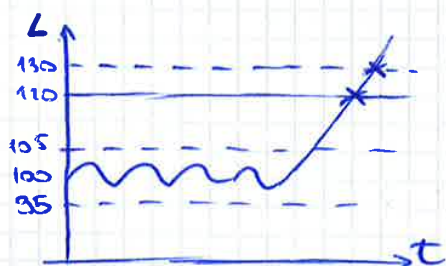
SE HO PORTATA FUORI SPECIFICA (3.1), PUO' DIVENTARE UNA CAUSA X 3.2 ALTO LIVELLO

SE LA VALVOLA E' FAIL CLOSE PUO' PORTARE AD INNALZAM. LIVELLO POICHE' BLOCCA USCITA, SE E' FAIL OPEN NON LA METTO COME ROTTURA, PERCHE' PORTA, IN CASO DI ROTTURA, AD ABBASSAMENTO DEL LIVELLO

↳ CONFIGURAZ. 3 - CASO C

SE AL SISTEMA DI PRIMA AGGIUNGO UN ULTERIORE SIST. DI PROTEZIONE, AD ESEMPIO UN MISURATORE DEL BATTENTE CON ALLARME + CHIUSURA DELLA VALVOLA D'INGRESSO, CHE DIVENTA PILOTATA, COME VALVOLA A MEMBRANA E NON SOLO + VALVOLA MANUALE APERTA/CHIUSA (COMANDA AD ARIA COMPRESSA)

↓
HO SIST. DI PROTEZIONE SUPERIORE, METTO UN SET-POINT A VALORE ≠ DA PRIMA, AD ESEMPIO A 130 (CON ALLARME A VALORE LEGGERMENTE INFERIORE O COINCIDENTE, ESSENDO 2° LIVELLO PROTEZ., SE FOSSE IL 1° LIVELLO DOVREI X FORZA DIFFERENZIARE)




ALLARME ALTISSIMO LIVELLO (AAL)

2° LIVELLO PROTEZIONE COMPORTA V-G, T-2, OPERATORE, RLS, SV, MISURA SEMPRE 3.2 P (BATTENTE), X PROTEGGERE 3.2 L VANIPOLANDO 3.1 F

X TROVARE FREQUENZA ATTESA DI UN TOP EVENT,
DEVO FARE ALBERO DEGLI EVENTI, CIOE' UN GRAFICO
GUASTI

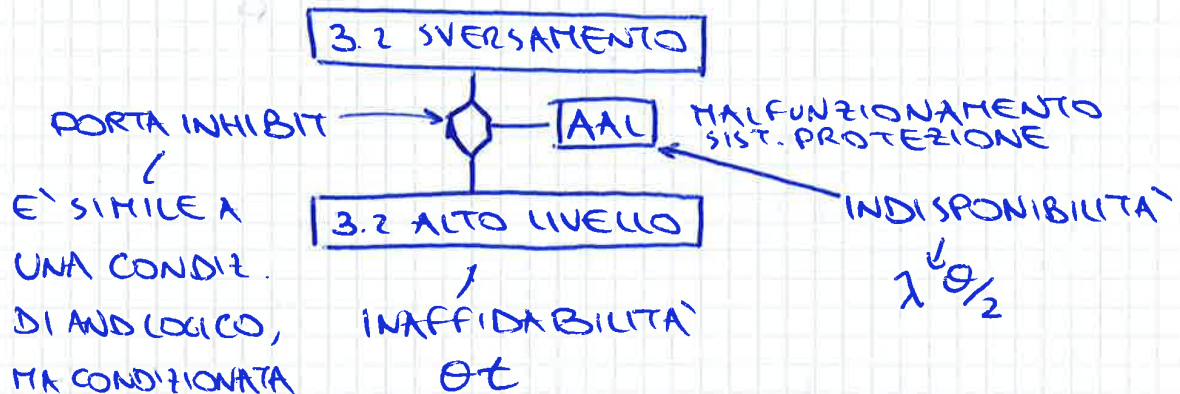
ALBERO DEI GUASTI

IN ALTO INDICO IL TE E SOTTO SCRIVO I GUASTI CHE
PORTANO A TALE EVENTO

RETTANGOLI  : STATI DEL SISTEMA

3.2 SVERSAMENTO

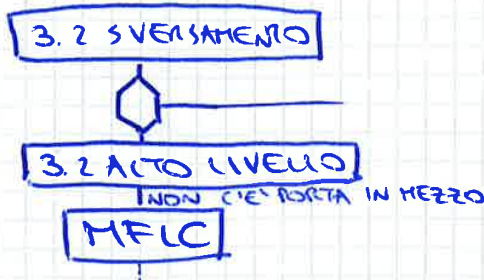
USO RAPPRESENTAZ. GRAFICO CHIAMATE PORTE LOGICHE
SOTTO DEVO METTERE LE CAUSE



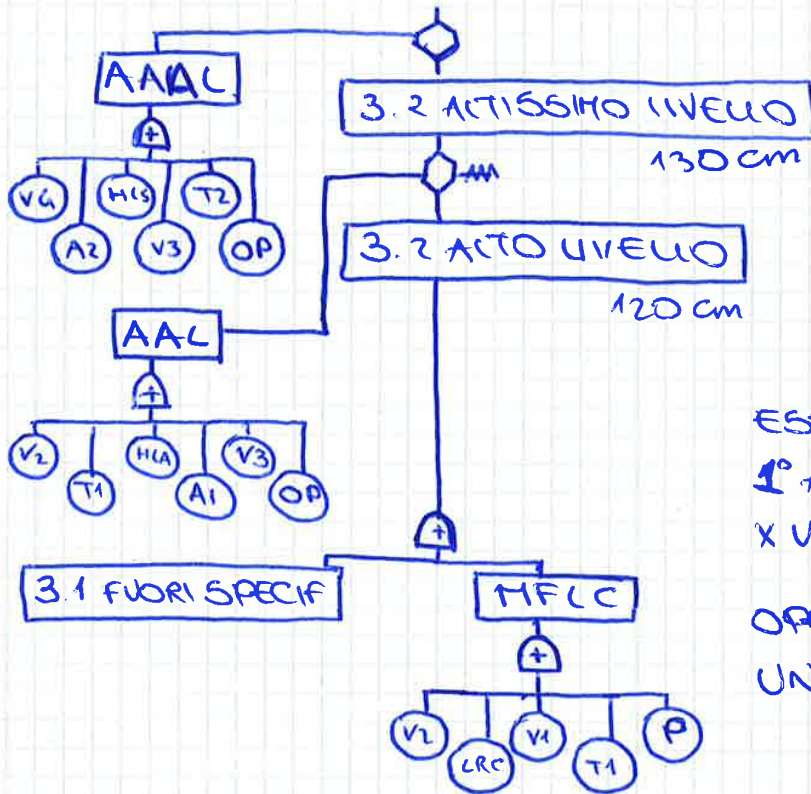
NEL MOMENTO DI **3.2 ALTO LIVELLO**, VADO A CERCARE AAL
E LO TROVO ROTTO, MA SI ERA ROTTO PRIMA

A OGNI RIGA CORRISPONDE UNA PORTA INHIBIT

DEVO ESPLICITARE TUTTE LE CAUSE DI ROTTURA, SIA
DI 3.2 ALTO LIVELLO, SIA DI AAL, X HAZOP SOLO X
3.2 ALTO LIVELLO



SE MANCA ARIA COMPRESSA SE USO FAIL CLOSE
 SENZA ARIA COMPRESSA SI CHIUDE E SAAL SI ATTIVA,
 QUINDI NON LA METTO NEU'ALBERO DEI GUASTI

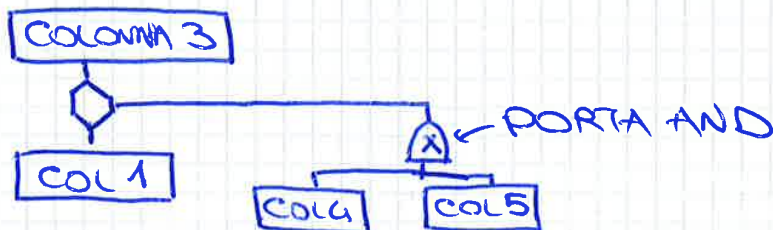


L'OPERATORE
 PUÒ NON ESSERCI,
 OPPURE PUÒ FARE
 LA COSA SBAGLIATA
 X MANCANZA
 D'ISTRUZIONE

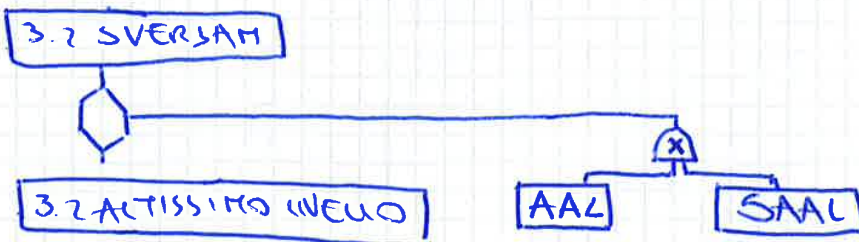
ESEMPIO: SQUADRA
 1° ANTINCENDIO
 X USO ESTINTORI

OPERATORE DA CHQ
 UN NUMERO

NEL CASO IN CUI INVECE ATTISSIMO LIVELLO = ATTISSIMO +
 LIVELLO (130 cm) X FALLIRE PROTEZIONE VUOLE DIRE
 CHE FALLISCONO ENTRAMBE



NEL NOSTRO ESEMPIO



CAMERA DI COMBUSTIONE

$T_{MW} = 1200^{\circ}\text{C}$

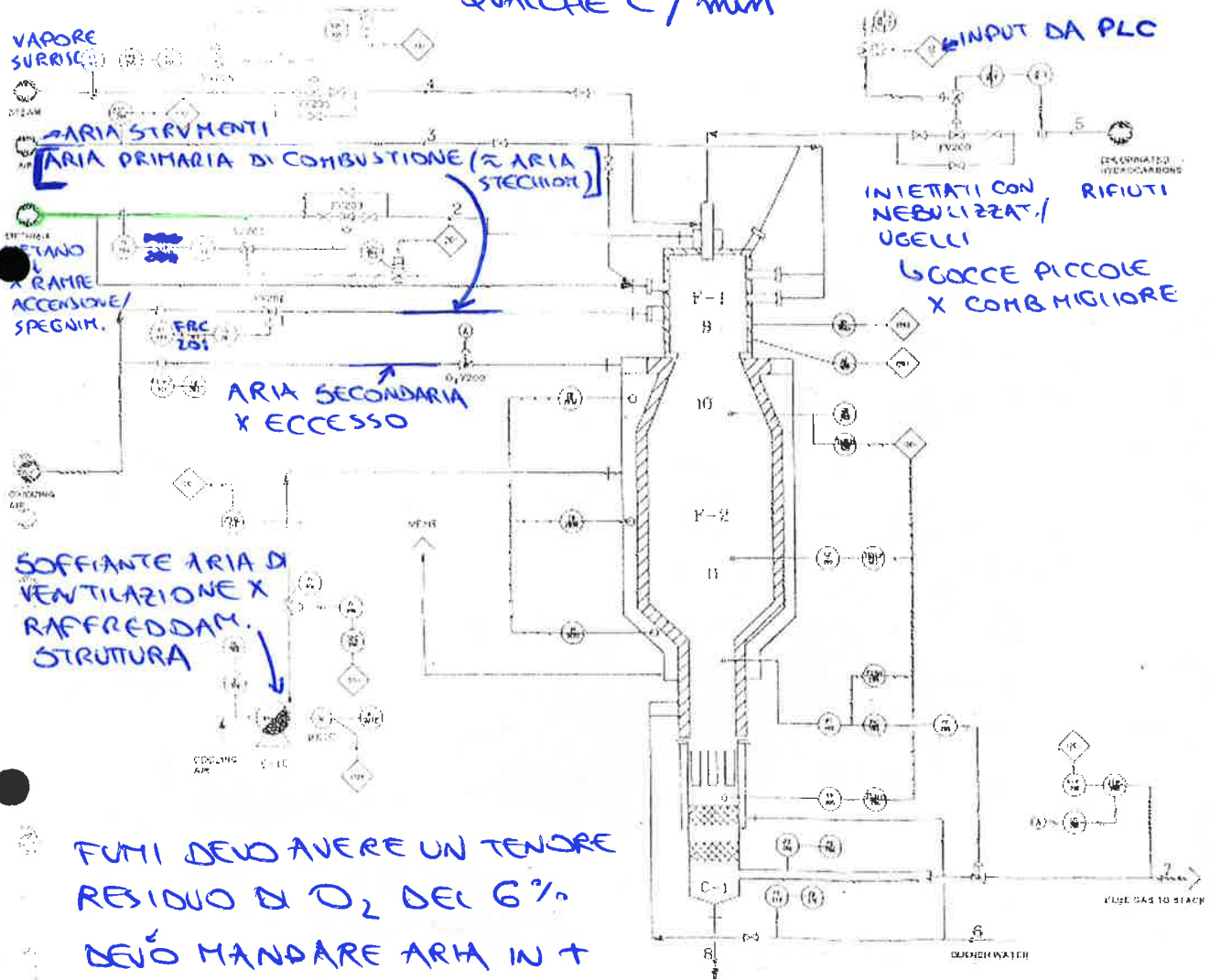
F1 = CAMERA 1^a ARIA

$\tau_{MIN} = 2 \text{ sec}$

F2 = " 2^a ARIA

↳ OBBIETTI DI LEGGE X RIFIUTI PERICOLOSI
X EFFICIENZE ALTISSIME

USO REFRAATTARIO → RAMPE ACCENSIONE / SPEGNIMENTO
QUALCHE $^{\circ}\text{C} / \text{min}$



FUMI DEVONO AVERE UN TENORE
RESIDUO DI O_2 DEL 6%
DEVONO MANDARE ARIA IN T

USO GAS NATURALE X ARRIVARE A 1200°C
O IN REGIME NON AUTOTERMICO
↳ COMB. AUSILIARIO

CONTROLLO DI VARIABILI CORRELATE TRA LORO,
ES. CONTROLLI DI RAPPORTO TRA COMBUSTIBILE E
COMBURENTE

↓
ARIA PRIMARIA CONTROLLATA CON RAPPORTO CON
INGRESSO COMBUSTIBILE

X ARIA 2^a ARIA CONTROLLO O_2 NEI FUMI

X COMBUSTIBILE MISURO PORTATA CON FLANGIA
TARATA (MISURANDO PERDITA DI CARICO) X
REGOLAZ. VALVOLA PNEUMATICA

SET-POINT IMPOSTATO DA PLC IN BASE AL
FABBISOGNO DA UTENTE ↓

DIALOGO TRA IMPIANTO (HARDWARE) E SOFTWARE
PLC MOLTO IMPORTANTI, AD ESEMPIO X FERMATA
COMBUSTIONE (SE AD ESEMPIO VADO OLTRE LIMITI
EMISSIONE) MA NON BASTA BLOCCARE MANDATA
RIFIUTI SENNO' SHOCK TERMICO, USANDO CH_4 X TENERE
A REGIME T

SUCCESSO SOLO SE INTERCETTO TUTTI I FLUSSI

LA PORTATA DI RIFIUTO CHE POSSO MANDARE DIPENDE
ANCHE DALLE SUE CARATTERISTICHE, ES: C_p
ANCHE LA RICHIESTA D'ARIA E' INFLUENZATA

↓
X IMPOSTARE SET-POINT DEVO CARATTERIZZARE IL
COMBUSTIBILE

↓
SE SBAGLIO HO DEVE DEVIATIONI

USO CH_4 SE IN CONDIZ. IN REGIME ^(?) NON SIAMO IN
AUTOTERMICO, SENNO' SOLO X AVVIO E SPEGNITI.

↓
NOI NELL'ANALISI CONSIDERIAMO SOLO AUTOTERMICO,
MA BISOGNA METTERLO IN CHIARO

CI SONO 7 SIST. PROTEZIONE:

- SULLA T CAMERA PRIMARIA
- " " " SECONDARIA
- O₂ IN GAS IN USCITA (NEI FUMI)

↳ PROBL. RITARDO MISURA

HO 3 LOGICHE ≠ 1 CONTROLLO → 7%
SIST. PROTEZ. BASSO LIVELLO

11% VUOLE DIRE
USARE IL DOPPIO
DELL'ARIA STECHIOM.

" " BASSISSIMO " → 6% x 13 mm

SE O₂ TROPPO ALTO HO SITUAZIONI DI SECONOMICHE,
ANCHE PERCHE' DEVO USARE CH₄ X AUTOTERMIA

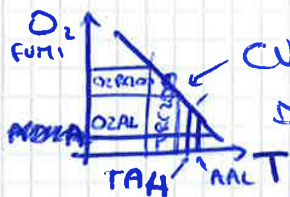
X T CAMERA SECONDARIA HO, OLTRE IL CONTROLLO,
2 ALLARMI DI BASSO, 2 ALLARMI DI ALTO, HO
IL PROBL. DEGLI STRESS TERMICI E INOLTRE
NON POSSO FARE FERMATA SENNO' RISCHIO
ESPLOSIONE, QUINDI HO BLOCCHI, MA NON HO
BLOCCO DELL'ARIA, MA EVITANDO SHOCK T.

LIMITI BASSA T X LIMITI DI LEGGE, ANCHE
QUI NON HO SPEGNIM. Istantaneo, MA UTILIZZO
COMB. AUSILIARIO

X T CAMERA PRIMARIA HO, OLTRE CONTROLLO, 3
LOGICHE DI PROTEZIONE, DI CUI 2 DI ALTA T X
RESIST. MECCANICA E UNA DI BASSA T X EFFICIENZA
COMBUSTIONE (PERTURBAZIONE FUORI PROGETTO
CHE SI PROPAGA). AD ESEMPIO PUO' ESSERE
INDICE DI SPEGNIM. DELLA FIAMMA E LA COMB.
DOVREBBE AVVENIRE TUTTA IN SECONDARIA, CHE
NON RIESCE DA SOLA → INCOMBUSTI NEI FUMI

| DEVIAZIONI | CAUSE | CONSEGUENZE | ALLARMI | SP. AUTOM. | TE |
|--|-----------------------|-------------|---------|------------|----|
| BASSO O ₂ (ERRORE NEL DOSAGGIO DELL'ARIA 2 ^a RIA) | MFOZRC MACFUNZION. | | | | |

SE SI RIDUCE O₂, ARIA SECONDARIA ↓, PORTATA ↓
CAMBIA T FUMI, T ↑ POICHE' NON HO + ECCESSO O₂
QUINDI SE O₂ ↓ ⇒ T ↑



CURVA DIPENDE DALLA TD DEL SISTEMA
DIPENDE DAL COMBUSTIBILE

VARIA IN CLINAZ. DELLA CURVA

BANDA OK: O₂ = 9,0 ÷ 9,4 ; T = 1280 ÷ 1320

NEL NOSTRO CASO INTORNO PRIMA TAH E TAHH (CIOE' 1 2 ALLARMI DI AAT T) E POI SOLO A 1600°C SI ATTIVA ALLARME BASSO O₂, QUANDO IL FORNO E' GIA' ROVINATO, E QUESTO MI INFLUENZA TANTISSIMO LA PROPABILITA' DI SUCCESSO (IMPORTANTISSIMO!!)

DEVO PARTIRE DA ALLARME SU T, POI RIGHE ≠

| | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---|--|--|
| II. DIMINUZO NE-O ₂ | MFOZRC | II. ACTA TEMPERAT. | NON HO SIST. DI PROTEZ. POICHE' PRIMA SI INNESCA ERRORE SU T | 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 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 |
| II. ACTA TEMPERAT. | II. DIMINUIZ NE-O ₂ | II. ALTISSIMA TEMP. | AAT' (ALLARME ACTA T) | |
| II. ALTISSIMA TEMPERAT. | II. ACTAT | II. DANNI TERMICI & II BASSO O ₂ | AAATS | |
| II. BASSO O ₂ | II. ALTISSIMA T | II. BASSISSIMO O ₂ | ALCOZ | |
| II. BASSISSIMO O ₂ | II. BASSO O ₂ | II. NON RISPETTO PRESCRIZ. | ALLOZS | |
| II. NON RISPETTO PRESCRIZIONE | II. BASSISSIMO O ₂ | II. NON RISPETTO PRESCRIZIONE | | |

1
DANNI TERMICI

2

HAZID

ANALISI PRELIMINARE DI TUTTE LE APPARECCHIATURE D'INTERESSE

- 1) MODELLO X DESCRIVERE FUNZ. DEL SIST.
- 2) ANALISI DELLE FUNZIONI → POSSIBILI DEVIAZIONI (CAUSE, FREQUENZA, EFFETTI)

ANALISI FUNZIONALE (SUDDIVISIONE IN SOTTOPARTI)

↳ DIAGRAMMA AD ALBERO

POI ANALISI VERA E PROPRIA

| | | | | | | | | |
|----------|----------|--------------|------------------|-----------------------|---------|---|---|------------|
| F. PRINC | F. ELEM. | FASE OPERAT. | PERICOLO DEVIAZ. | CAUSE | CONSEG. | F | D | R |
| | | | | | | | | |
| | | | | SALVAGUARDE ESISTENTI | | | | RACCOMAND. |

HAZOP

ANALISI OPERABILITÀ RICORSIVA (SUDDIVISO IN SOTTOSISTEMI SEMPLICI)

DEVIAZIONE | CAUSE | CONSEGUENZE | ALLARMI | S.P.A. | TE

DOT CHART ANALYSIS

HAZOP X IMPIANTI BATCH

ANALISI FATTA FASE X FASE

(L'ANALISI SI POTREBBE ANCHE FARE SECTION BY SECTION)

+ DEVIAZIONI AGGIUNTIVE → TEMPO
→ FASE

| | |
|------------------|---------------|
| | APPARECCHIAT. |
| F A S I | STATO |

PHA = PRELIMINARY
HAZARD
ANALYSIS

SAFETY (SICUREZZA)

LIBERTÀ DA UN RISCHIO INACCETTABILE

SICUREZZA FUNZIONALE:

QUOTA PARTE CHE DIPENDE DA UN APPARECCHIATURA

FUNZIONE DI SICUREZZA:

AZIONE FATTA DA SIS X TORNARE OK

SIS: (SAFETY INSTRUMENTED SYSTEM):

SIST. STRUMENTALE DI 1 O + FUNZ. DI SICUREZZA

IPL : LIVELLO DI PROTEZ. INDIPENDENTE

SIL (SAFETY INTEGRITY LEVEL)

PROBAB. SIS FUNZIONI OK

↑
IEC 61508

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \leftarrow X \text{ TASSO COSTANTE (CFR)}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \approx \lambda t \text{ SE } \lambda t \ll 0,1$$

X CONSIDERARE $\lambda \neq \text{COST}$ \rightarrow DISTRIB. WEIBULL

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t^\alpha} \quad R(t) = e^{-\lambda t^\alpha} \quad \alpha = \text{COEFF. FORMA}$$

$$f(t) = \lambda \alpha t^{\alpha-1} e^{-\lambda t^\alpha}$$

$$h(t) = f/R = \lambda \alpha t^{\alpha-1}$$

$$\begin{cases} \alpha < 1 \rightarrow \text{DFR} \\ \alpha = 1 \rightarrow \text{CFR} \\ \alpha > 1 \rightarrow \text{IFR} \end{cases}$$

SE FACCIO FUNZ. A GRADINO CON $\lambda \neq$

DISPONIBILITA' \rightarrow X COMP. RIPARABILI

MAINTAINABILITY \neq AFFIDABILITA'

MANTENABILITA': PROB. CHE FUNZIONI CONTINUAM
IN UN TEMPO t_{RIF}

$$G(t) = P_x (Y \leq t)$$

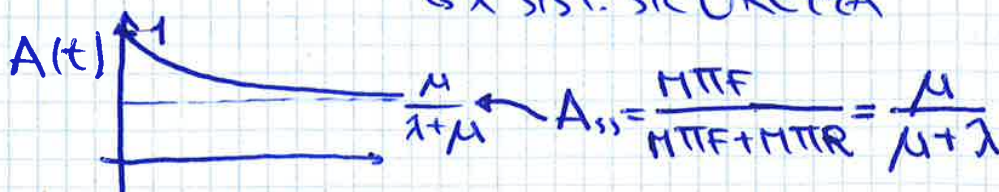
$$g(t) = \frac{dG(t)}{dt} \quad \text{DENSITA'}$$

$$\text{MTR (MEAN TIME TO REPAIR)} = \int_0^\infty t g(t) dt = \frac{1}{\mu}$$

$$\text{REPAIR RATE } R_g(t) = \frac{g(t)}{1-G(t)}$$

AFFIDABILITA' \rightarrow CONTINUITA' DI SERVIZIO
 \hookrightarrow X SIST. CONTROLLO

DISPONIBILITA' \rightarrow FUNZIONA A UN CERTO t
 \hookrightarrow X SIST. SICUREZZA



RIDONDANZA

* STAND-BY $\rightarrow R_S = R_A + \int_0^t R_B(t-x) f_A(x) dx$

* MAGGIORITARIA $\rightarrow R_S = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R^i (1-R)^{n-i}$

* STAND-BY

$$\begin{cases} R_A = e^{-\lambda_A t} \\ R_B = e^{-\lambda_B t} \end{cases}$$

$$R_S = \frac{\lambda_A}{\lambda_A - \lambda_B} e^{-\lambda_B t} - \frac{\lambda_B}{\lambda_A - \lambda_B} e^{-\lambda_A t}$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda_A} + \frac{1}{\lambda_B}$$

$$\text{SE } R_A = R_B \Rightarrow R_S = (1 + \lambda t) e^{-\lambda t} \rightarrow MTTF = \frac{2}{\lambda}$$

LOGICA BOOLEANA

$$A + A = A$$

$$A \times A = A$$

$$A + A \times B = A$$

$$A \times (A + B) = A$$

$$A + 0 = A$$

$$A \times 1 = A$$

$$A + 1 = 1$$

$$A \times 0 = 0$$

$$A + \bar{A} = 1$$

$$A \times \bar{A} = 0$$

$$\overline{A+B} = \bar{A} \times \bar{B}$$

$$\overline{A \times B} = \bar{A} + \bar{B}$$

$$TE = (E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_9) \times (EU_1 + E_3 + E_7 + E_8 + E_2)$$

$$TE = \left(\underbrace{(E_2 + E_3)}_A + \underbrace{(E_1 + E_4 + E_5 + E_6 + E_9)}_B \right) \times \left(\underbrace{(E_2 + E_3)}_A + \underbrace{\quad}_C \right)$$

$$TE = (A + B) \times (A + C)$$

$$TE = A^2 + AB + AC + BC = A + AB + BC + AC = A + BC$$

$$TE = (E_2 + E_3) + (E_1 + E_4 + E_5 + E_6 + E_9) \times (EU_1 + E_7 + E_8)$$

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= 1 - e^{-\lambda t} \approx \lambda t = 6,6 \cdot 10^{-2} \\ E_2 &= 8,8 \cdot 10^{-2} \\ E_3 &= 8,8 \cdot 10^{-2} \\ E_4 &= 2,2 \cdot 10^{-2} \\ E_5 &= 8,8 \cdot 10^{-2} \\ E_6 &= 8,8 \cdot 10^{-2} \end{aligned} \right\} F(t)$$

$$\left. \begin{aligned} E_7 &= \lambda \theta / 2 = 0,5 \sqrt{6} = 0,083 \cdot 10^{-2} = 8,3 \cdot 10^{-4} \\ E_8 &= 0,4 \cdot 10^{-2} / 6 = 6,67 \cdot 10^{-4} \end{aligned} \right\} U(t) \text{ TESTATI}$$

$$E_9 = 4,9 \cdot 10^{-2} \quad \text{~~6,67 \cdot 10^{-4}}~~ \quad \text{~~8,3 \cdot 10^{-4}}~~ \\ EU_1 = 10^{-3}$$

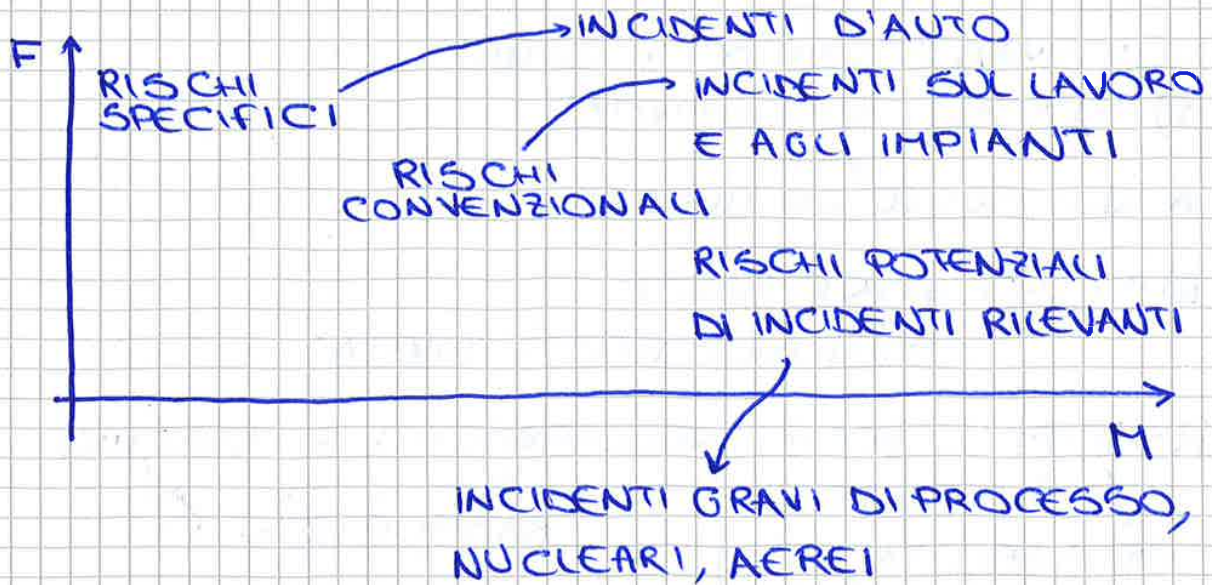
$$TE = 0,176 + 0,311 \times 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,176$$

CASO B

$$TE = (E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_9) \times (EU_1 + E_{10} + E_{11} + E_7 + E_8)$$

$E_{10} = E_3$; $E_{11} = E_2$ COME VALORI

$$TE = 0,487 \times 0,18 = 0,087$$



VALUTAZIONE RISCHI

1) INDIVIDUAZIONE → TECNICHE DI ANALISI X
EVENTI INDESIDERATI
NELL'IMPIANTO

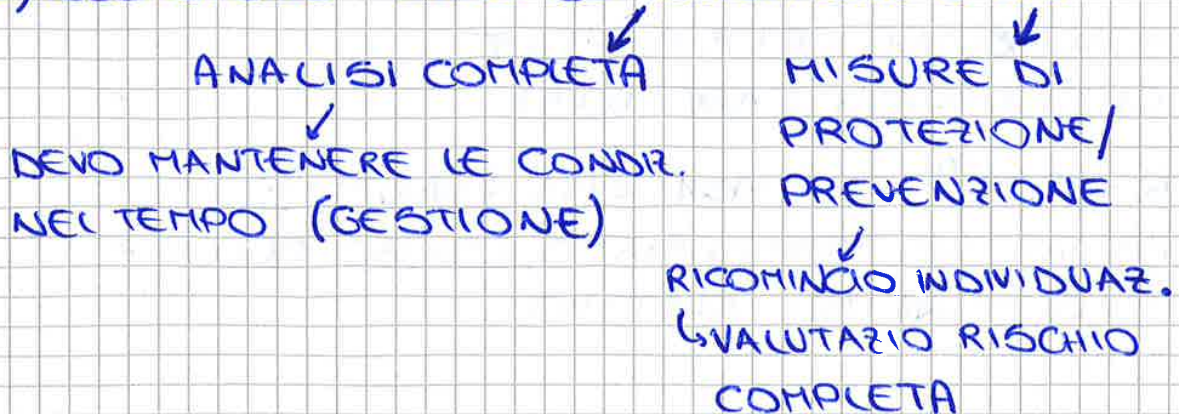


SCENARI INCIDENTALI:
DISPERSIONI / INCENDI / ESPLOSIONI

2) VALUTAZ. FREQUENZE

3) MAGNITUDO / CONSEGUENZE

4) DECISIONE → VEDO SE TOLLERABILE O NO



IN ITALIA X RISCHIO D'INCIDENTE RICEVANTE
FACCIO STUDIO PROBABILISTICO

$< 10^{-6}$ A/ANNI \rightarrow NON LI CONSIDERO

$> 10^{-6}$ ACC/ANNI \rightarrow LI STUDIO

SE SUCCEDDE NON SONO PRONTO A GESTIRLO

MISURE MIGLIORAMENTO

- IMPIANTISTICO
- PROCEDURALE \rightarrow DI GESTIONE E EMERGENZA

\neq TECNICHE X VALUTAZ. RISCHIO

\rightarrow QUALITATIVE \rightarrow IN ALTO NELLA TABELLA

\rightarrow QUANTITATIVE

\hookrightarrow HRA CONSIDERA ERRORE OPERATORE
SERVONO CONOSCERE ELEVATE
A PARTIRE DA IMPIANTO PILOTA

BISOGNA ANCHE FARE VALUTAZ. DEI RISCHI PRIMA
DI MODIFICARE GLI IMPIANTI

SE SUCCEDDE EVENTO INCIDENTALE BISOGNA
STUDIARLO

HRA \rightarrow BISOGNA VEDERE COSA PUO' INFLUENZARE
IL COMPARTAMENTO UMANO IN ERRORE
ED EVENTUALI INTERVENTI DI RECUPERO UMANI

• METODI INDUTTIVI (DISCENDENTI) \rightarrow FMEA
 \hookrightarrow COSA SUCCEDDE SE?

• METODI DEDUTTIVI \rightarrow ALBERO DEI GUASTI
 \hookrightarrow PERCHE' ? \rightarrow PARTO DA CONSEGUENZE E
ARRIVO A POSSIBILI CAUSE

DOPO AVER IDENTIFICATO LE \neq FASI PASSO AD ANALISI VERA E PROPRIA

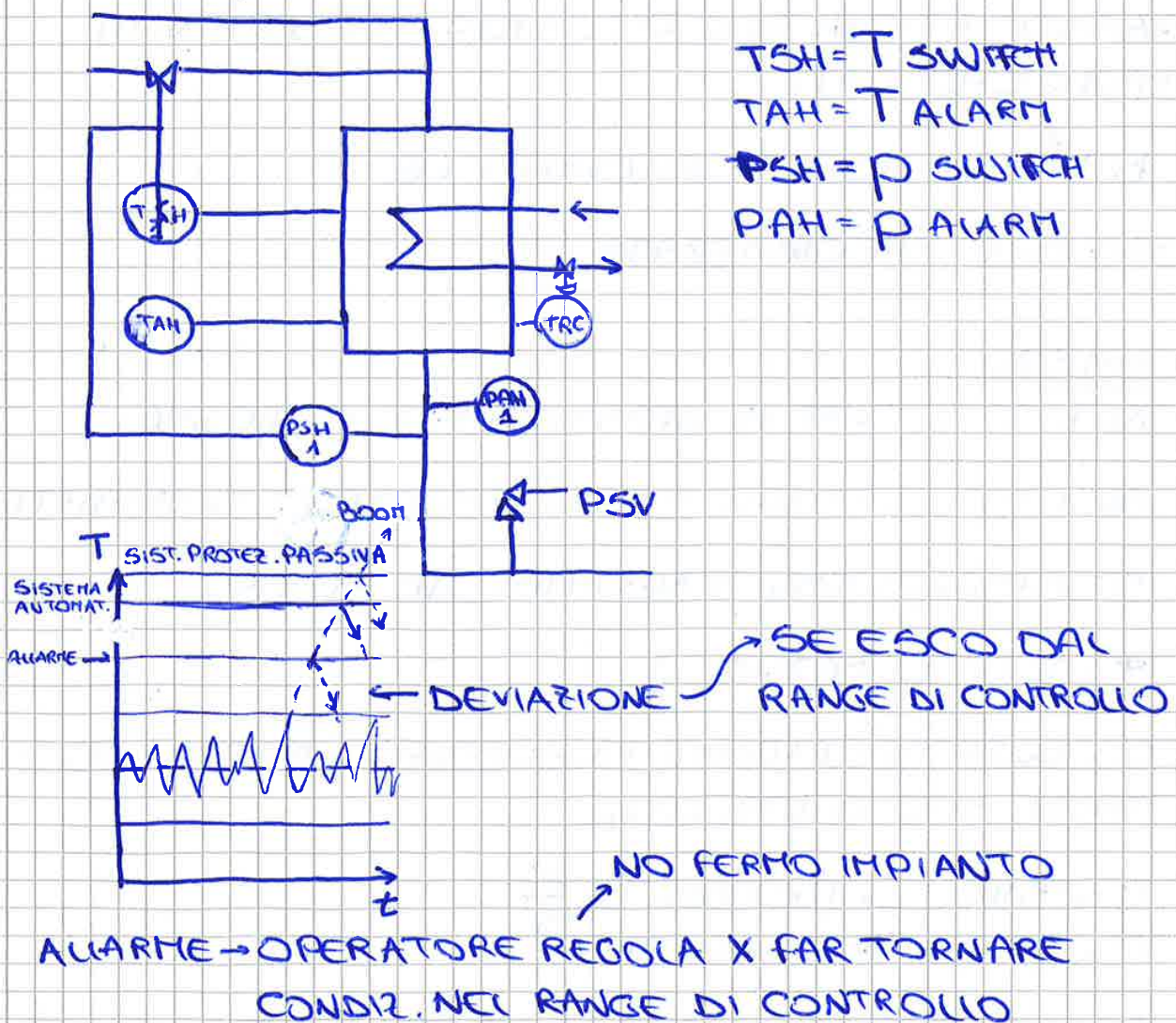
PARTO DA BASSO LIVELLO

PRIME 2 COLONNE X FUNZIONI (NUMERATE)

FASE OPERATIVA: SE SONO IN DISCONTINUO, MA ANCHE IN CONTINUO X FERMATA/MANUTENZ.

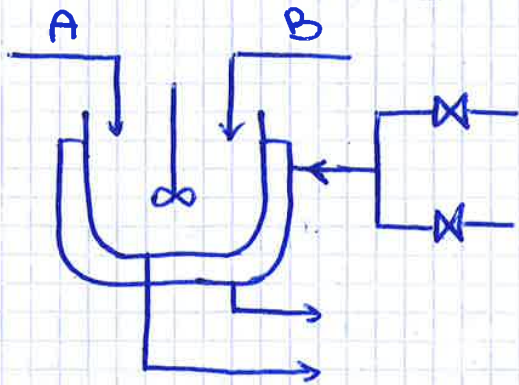
FINO ALE CONSEGUENZE ANALISI QUALITATIVA

POI ANALISI QUANTITATIVA FRER. DANNO = RISCHIO



X LE FUNZ. OPERATIVE DANNO STIMATO VIENE
DETERMINATO TENENDO PRESENTE DELLE SALVAGUARDIE

ESEMPIO:



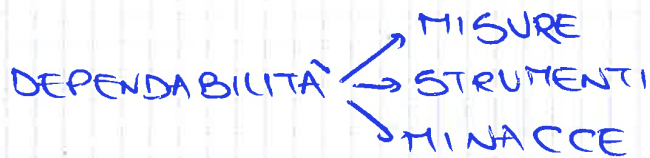
C = NON IN USO
 A = APERTO
 X = CONTROLLATO

| | LINEA INGRESSO A | LINEA INGRESSO B | REATT. | RISC. CAMICIA | RAFER. CAMICIA | SCARICO |
|-------------------|------------------------|------------------------|--------|------------------|-------------------|---------|
| INGRESSO REAG. | A | A | A | C | C | C |
| RISCALD. | C | C | A | A | C | C |
| REAZ. | C | C | A | C | A | C |
| SCAMBIO | C | C | A | C | C | A |

SE HO REAGENTI INFIAMMABILI DEVO PRIMA
 INERTIZZARE L'APPARECCHIATURA CON AZOTO
 APRO HV-1 E IL VENT AV-1

DEPENDABILITY

LA PROPRIETA' DI UN SIST. DI ESSERE AFFIDABILE NEL TEMPO



MISURE → SICUREZZA (DI PROCESSO)

AFFIDABILITA'

DISPONIBILITA'

MANUTENTABILITA'

SECURITY → MANCATO FURTO

STRUMENTI → RESILICENZA / RESISTENZA AI GUASTI

TOLLERANZA AI GUASTI

ELIMINAZIONE "

PREVENZIONE "

MINACCE → GUASTI

ERRORI

DIFETTI

- * SICUREZZA
- * SPECIFICHE TECNICHE
- * MANUTENZIONE
- * COSTO CICLO VITA
- * COMPETIZ. DI MERCATO

(MTBF)

TEMPO MEDIO TRA GUASTI

TOTAL DOWNTIME

↳ TEMPO DI FERMATA

X GUASTO

AFFIDABILITA'

INFLUENZA

L'IDEA DEL

CLIENTE

ASSISTENZA TECNICA

• SCORTE

• DIMENSIONARE PERSONALE X RIPARAZ.

• PERIODO DI GARANZIA

• FILOSOFIA DI MANUTENZIONE

↳ PREVENTIVA → OGNI TOT. SOSTITUIZ.

↳ REATTIVA → DA QUANDO SI ROTTE

DECIDO IO QUANDO FERMARE

$$R(t) = P_r \{ X > t \} = 1 - F(t)$$

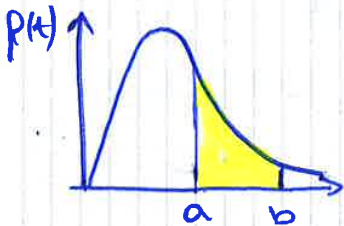
COMPLEMENTARY DISTRIBUTION FUNCTION

DENSITA'

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

SI GUASTI TRA t E $t+dt$

$$\int_a^b f(x) = P_r \{ a < X < b \} = F(b) - F(a)$$



$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

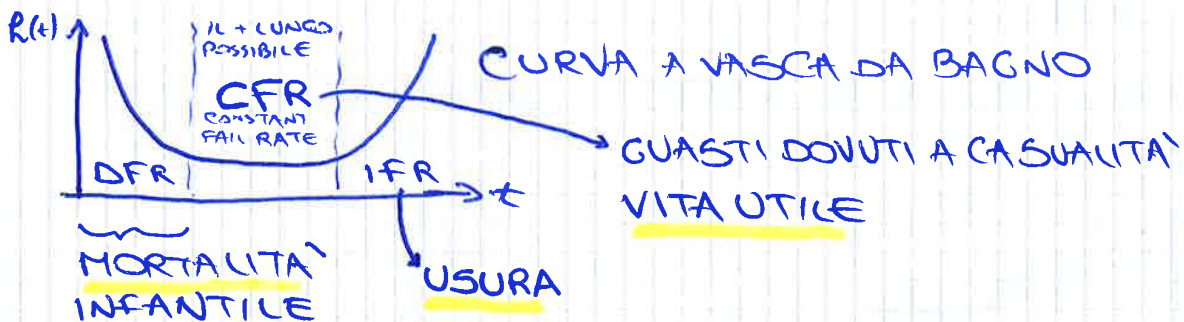
$$MTTF = E[X] = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

TEMPO MEDIO AL GUASTO \rightarrow ~~MTTF~~ \rightarrow ~~R(t)~~

$$\text{TASSO DI GUASTO} = \frac{R(t)}{R(t)} = \frac{R(t)}{1 - F(t)} = R(t)$$

$R(t) \cdot \Delta t$ = PROBAB. CHE SI GUASTI DOPO UN CERTO Δt CON COMP. ANCORA FUNZIONANTE

$f(t) \cdot \Delta t$ = PROBAB. INCONDIZIONATA (VIVO O MORTO)



PROBL: PROGETTAZ, INSTALLAZIONE COPERTO DA GARANZIA

$$\lambda = R(t) \text{ IN VITA UTILE } \rightarrow MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

TROVO $Q(t) \neq t$
 ↳ ROTURA CUMULATIVA

Variable failure rates and probability plotting 61

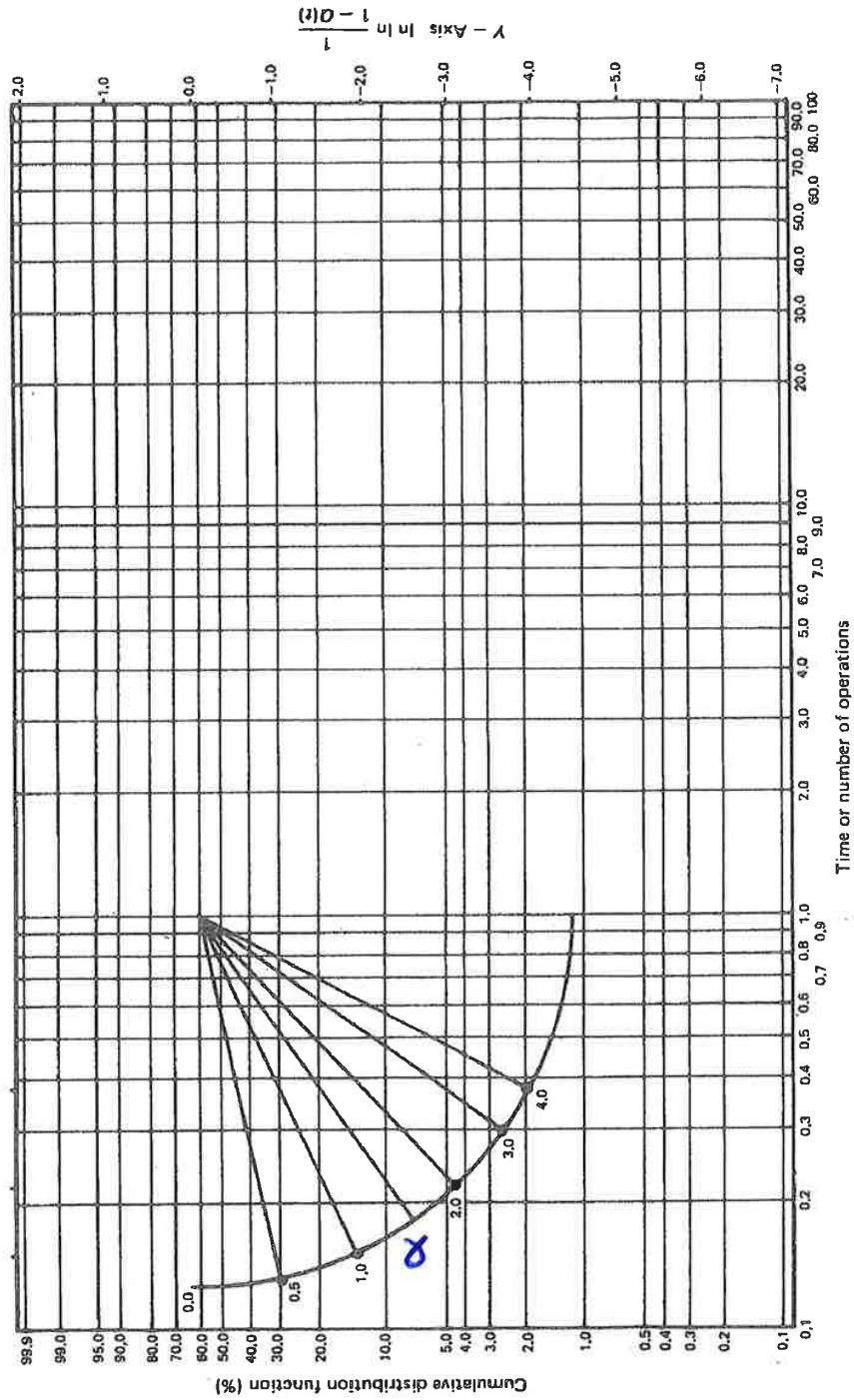


Figure 6.1 Graph paper for Weibull plot

DISPONIBILITA'

COMP. RIPARABILI $\begin{cases} \text{PERIODI FUNZIONANTI} \rightarrow \text{UP} \\ \text{" IN RIPARAZIONE} \rightarrow \text{DOWN} \end{cases}$

NON BASTA AFFIDABILITA'

NON SOSTITUISCO SEMPRE, MA RIPARO SE POSSO



MANTENABILITA'

PROBABILITA' CHE $t_{\text{FUNZIONAM CONTINUO}} < t_{\text{RIF}}$

MANTENABILITA' $\rightarrow G(t) = P_r \{ Y \leq t \}$

DENSITA' $\rightarrow g(t) = \frac{G(t)}{dt}$

MTR (MEAN TIME TO REPAIR) $= \int_0^{\infty} t g(t) dt$

REPAIR RATE $\rightarrow R_g(t) = \frac{g(t)}{1-G(t)}$ ↑ TEMPO MEDIO DI RIPARAZIONE

DISPONIBILITA' = PROBABILITA' CHE AL TEMPO t IL COMPONENTE FUNZIONI

$A(t) = P_r \{ t, \text{SYSTEM} = \text{UP} \}$

$U(t) = P_r \{ \text{TEMPO } t, \text{SYSTEM} = \text{DOWN} \}$ ← INDISPONIBILITA'

AFFIDABILITA' \rightarrow CONTINUITA' DI SERVIZIO.

DISPONIBILITA' \rightarrow SE FUNZIONA IN UN CERTO t

X I SISTEMI DI SICUREZZA

X SIST. DI CONTROLLO

$$U_{SS} = \frac{MTR + \theta/2}{MTTF + MTR} = \lambda \theta / 2$$

TRASC. (pointing to $\theta/2$)
TRASC. (pointing to MTR)



$$U_{\infty} = \frac{MTR + T/2}{MTR + MTTF} \gg \text{DI } \boxed{A} \text{ E } \boxed{B}$$

$$U_{\infty} = \frac{\lambda T}{2}$$

MTR → TEMPO MEDIO DI RIPARAZ.

E' FATTO? * T IN CUI MI ACCORGO CHE NON VA

- | | | |
|---------------------------------------|---|---|
| TEMPI PASSIVI / ATTESA / AMMINISTRAT. | } | <ul style="list-style-type: none"> * INIZIO PROCEDURA RIPARAZ. * PEZZI RICAMBIO DA COMPRARE / ASPETTARE * ADDETTI X RIPARAZ. DA ASSUMERE |
| | | <ul style="list-style-type: none"> * RIPARAZIONE * RIMESSA IN MARCIA |
| | | } TEMPI ATTIVI |

STUDIATO DA LOGISTICA

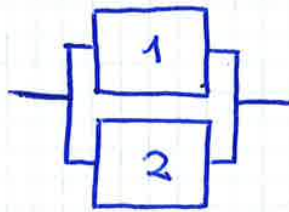
MODELLO DI IMPIANTO X STUDIARE AFFIDABILITA' / ...

DEVO ESSERE INTEGRATO AL MODELLO PRINCIPALE QUELLO DI SICUREZZA

- DIAGRAMMA A BLOCCHI
 - ALBERI DEI GUASTI
 - ALBERI DEGLI EVENTI
- } CORRELAZ. TRA CIO' CHE PUO' SUCCEDERE E LE CONSEG.

≡ ANCHE SIST. DINAMICI → + RAFFINATI / COMPLESSI

ES. SISTEMI MARKOVIANI

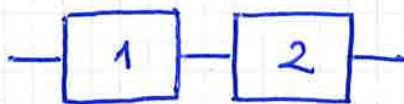


$F_S = ? \quad R_S = ?$

$F_S = F_1 \cdot F_2 \quad F_S = \prod_{i=1}^n F_i$

$1 - R_S = (1 - R_1)(1 - R_2)$

$R_S = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) = R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2$



$R_S = R_1 \cdot R_2$

$F_S = F_1 + F_2 - F_1 \cdot F_2$
 $\rightarrow \approx 0$

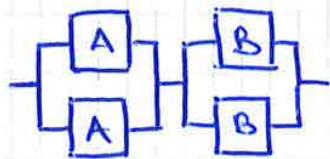
$F_S \approx \sum_{i=1}^n F_i$

RADDOPPIARE UN SISTEMA/RIDONNARE AUMENTA L'AFFIDABILITÀ DEL SISTEMA (IN PARALLELO)

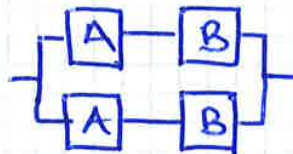
PROBL: COSTI MAGGIORI

FACCIO UN'ANALISI DI SENSITIVITÀ E FACCIO RIDONNANZA SOLO DEI COMP. + CRITICO, -AFFIDABILE, CON AFFIDABILITÀ + BASSA

BILANCIO COSTI/BENEFICI



È MEGLIO DI



ESEMPIO



IN REALTÀ SONO // IN STANDBY

~~PERIODO~~ SIST. DI PROTEZIONE SI ATTIVANO SOLO SE SIST. REGOLAZ. NON FUNZIONA



AFFIDABILITÀ DIVENTA + COMPLESSA

SIST. A LOGICA MAGGIORITARIA

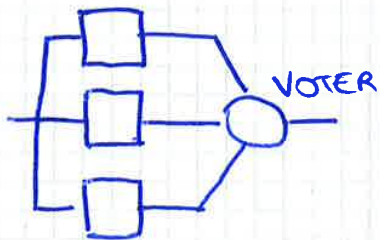
HO 3 SIST CHE MISURANO LA STESSA VARIABILE, IN VOTER RICEVE I 3 SEGNALI, SE 2 DEI 3 DICONO CHE LA T È SALITA, INTERVIENE, SE SOLO 1 DEI 3 NO. VALE ANCHE X UN GUASTO, SE SOLO UNO DEI 3 SI GUASTA FUNZIONA ANCORA

↓
SIST. TOLLERANTE AL GUASTO → LOGICA MAGGIORITARIA 2 SU 3

LOGICA MAGGIORITARIA 2 SU 2 → È UN PARALLELO

FERROVIE → LOGICA CON 7 SIST. IN //

SE HO LOGICA MAGGIORITARIA 2:3



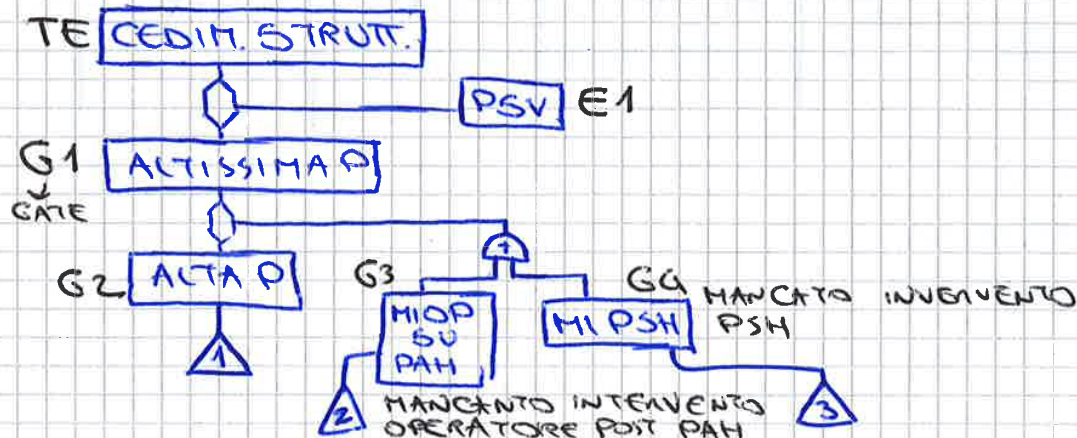
$$R_{2:3} = \binom{3}{2} R^2 (1-R) + \binom{3}{3} R^3 (1-R)^0$$

$$= 3R^2 - 2R^3$$

| DEVIAZIONI | CAUSE | CONSEQUENZE | ALARMI | SP. AUTOM. | TE |
|---------------------------|---------------------------------------|-------------|--------|------------|----|
| MFTRC MFTRC | GUASTO TRC PORTATA FUORI SPECIFICA | ALTA T | | | |
| ALTA T | MFTRC | ACTISSIMAT | TAH | | |
| ACTISSIMAT | ALTA T | ALTA P | | TSH | |
| ALTA P | ACTISSIMAT ACTISSIMAT | ACTISSIMA P | PAH | | |
| ACTISSIMA P | ALTA P | AAAP | | PSH | |
| AAAP | ACTISSIMA P | ESPLOSIONE | | PSV | 1 |

DA PROF:

| DEVAZ. | CAUSE | CONSEC. | ALARMI | SP. AUTOM. | TE |
|---------------------|---|------------------------------|--------|------------|--------------------------|
| (MF. LCT) ALTA T | GUASTO TRC GUASTO TV1 MANCANZA H ₂ O | ACTISSIMAT | | | |
| ACTISSIMA T | ALTA T (MF LCT) | ACTISSIMA T AND ALTA P | TAH | TSH | ← SE ALLO STESSO LIVELLO |
| ALTA P | ACTISSIMAT | ACTISSIMA P | PAH | PSH | ← SE ALLO STESSO LIVELLO |
| ACTISSIMA P | ALTA P | CEDIMENTO STRUTTURALE | | PSV | 1 CEDIMENTO STRUTTURALE |



APPLICHO REGOLE DELL'ALGEBRA BOOLEANA

$$A + A = A \quad \text{SOVRAPPONGO}$$

$$A \times A = A \quad \text{INTERSECCO}$$

$$A + A \times B = A$$

$$A \times (A + B) = A$$

$$\text{NEL NOSTRO CASO } TE = B(E3 + A)(EG + A)$$

↓
RACCHIUDE TUTTI GLI ALTRI TERM.

$$TE = B(E3 \times A + A \times EG + A \times A + E3 \times EG)$$

$$TE = B(\underbrace{E3 \times A + A}_{A} + \underbrace{A \times EG + A}_{A} + \overset{A}{E3 \times EG})$$

$$TE = B(A + E3 \times EG) \quad A = EG$$

$$TE = E1 \times (E4 + E3 \times EG)(E7 + E8 + E9)(E5 + E2)(E2 + E1)$$

↑
ABBIAIMO RIDOTTO IL SIST.

$$TE = E1 \times E4 \times E5 \times E2 + E1 \times E4 \times E7 \times E5 \times E1 + \dots$$

↓
VENGONO SOMME DI EVENTI INIZIATORI MOLTIPLICATI TRA LORO, CHE CHIAMO INSIEMI MINIMI DI TAGLIO, (MINIMAL CUT SETS)^{MCS}, CHE CI DICONO IL NUMERO DI EVENTI CHE DEVONO ACCADERE CONTEMPORANEAMENTE.

↓
↳ CASI X ARRIVARE A TE

NEL NOSTRO CASO:

MCS È FATTO ALMENO DA 5 EVENTI

DEVO INTERVENIRE SU QUELLI CHE HANNO HAO EVENTI

POI SOSTITUISCO LE INDISPONIBILITÀ O ~~INDISPONIBILITÀ~~ INAFFIDABILITÀ

↳ LA USO X COMPONENTI CHE (SERVONO QUANDO CHIAMATI)

LAVORO IN CONTINUO → SIST. CONTROLLO