MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

INDICE

Programma redatto dagli studenti con tutti gli argomenti coperti dal corso

Cap. 1: Tecnologia dei NPP.....pag 1

Cap.2: ECCS – 10 CFR 50.....pag 5

Cap.3: Analisi della fuel pin.....pag 6

Cap.4: Modelli&Eq. di Bilancio in TH.....pag 11

HEM.....pag 15

UVUT.....pag 17

Cap. 5: Modelli per le perdite di carico 2ϕ.....pag 25

Modello HEM.....pag 27

Modello Martinelli&Lockhart.....pag 29

Modello Martinelli&Nelson.....pag 31

Cap. 6: Flusso bifase&Boiling channel.....pag 32

Vertical Flows Regimes.....pag 33

Horizontal Flows Regimes.....pag 34

Boiling Channel.....pag 41

Cap. 7: Flusso critico.....pag 50

TPCF – Moody Model.....pag 52

Analisi del BlowDown.....pag 55

Cap. 8: Flooding&CCFL.....pag 57

Cap. 9: Condensazione.....pag 59

Filmwise Condensation – Nusselt.....pag 60

Dropwise Condensation.....pag 62

Effetto degli Incondensabili.....pag 63

Cap 10: Natural Circulation.....pag 64

NC nei PWR.....pag 69

NC nei BWR.....pag 72

Scaling.....pag 78

Cap. 11: Analisi Termoidraulica dei LOCA.....pag 78

LBLOCA nei PWR.....pag 79

SBLOCA nei PWR.....pag 81

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

LBLOCA nei BWR.....*pag 84*

SBLOCA nei BWR.....*pag 85*

Potenza di Decadimento.....*pag 86*

Reflood: Yamanouchi.....*pag 87*

Cap. 12: Analisi degli incidenti.....**pag 89**

TMI-2 1979.....*pag 89*

Chernobyl 1986.....*pag 91*

LaSalle 1988.....*pag 92*

Fukushima Daiichi 2011.....*pag 93*

Appendice 1: Esercizi.....**pag 95**

Calcolo del I picco di pressione in un contenimento PWR a seguito di un LOCA.....*pag 95*

Transitorio nel pressurizzatore.....*pag 97*

Calcolo analitico del blowdown liquido $\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)$.....*pag 99*

Calcolo della forza sul RPV a seguito di un LBLOCA.....*pag 100*

Dimensionamento concettuale della PORV (o SRV).....*pag 100*

Appendice 2: Numeri.....**pag 101**

Bibliografia.....**pag 102**

Per la stesura di questi appunti si vuole ringraziare Giulia B. M., Luca G. e Niccolò M.

Buono studio!

Alberto F.

Programma

- **Introduzione alla termoidraulica:** obiettivi, fondamenti e campo di studi e di applicazione della termoidraulica.
- **Tecnologia delle NPP:** Design e tecnologia delle filiere nucleari LWR; aspetti principali e caratteristiche generali; componenti chiave dei LWR.
  - **Pressurized water reactors (PWR).**
  - **Boiling water reactors (BWR).**
- **ECCS:** Design e tecnologia degli ECCS per i LWR; principi termoidraulici di progettazione dei sistemi di sicurezza; safety criteria 10.CFR.50.46.
- **Design e principi termoidraulici della pin di combustibile:** applicazione dell'equazione di Fourier alla pin dei LWR; condizioni al contorno; calcolo della temperatura massima al centro della pin; relazione con la potenza lineare e la temperatura di bulk del refrigerante; andamento radiale della temperatura attraverso la pin, andamento assiale per coolant monofase.
- **Equazioni di bilancio e relativi modelli in termoidraulica:** definizioni e grandezze chiave della termoidraulica bifase (portata, flusso massico, titolo statico, titolo di portata, titolo termodinamico, velocità del fluido, velocità superficiale del fluido, slip ratio); fattore di vuoto; correlazione fondamentale della termoidraulica; formulazione generale delle equazioni di bilancio (Massa, Quantità di moto ed Energia); Modello HEM; modello UVUT; equazioni costitutive; closure laws/jump conditions; problemi relativi all'applicazione delle UVUT ed implementazione del modello nei codici numerici; cenni al modello Drift-flux.
- **Modelli per il calcolo delle perdite di carico bifase per attrito:** Two-phase flow multipliers e i due diversi approcci per calcolarli; modello HEM per il calcolo delle perdite di carico bifase per attrito; modello di Lockhart e Martinelli; modello Martinelli-Nelson.
- **Flusso Bifase:** regimi di flusso e flow regimes maps; pool boiling; flow boiling; analisi del canale bollente; concetto di CHF e di crisi termica; curva di Nukyama; dry out e DNB; scambio termico bifase lungo il canale (convezione forzata monofase, subcooled boiling, onset of saturated boiling, saturated boiling, film boiling, CHF, transition boiling, MFB, reflood); calcolo del HTC e modelli (Chen); calcolo del CHF e modelli (W-3, GEXL, Groeneveld); MCHFR e MDNBR.
- **Flusso critico:** fenomenologia; aspetti termoidraulici; flusso critico per liquidi incomprimibili; flusso critico per gas perfetti; modelli per flusso critico bifase (modello di Moody); analisi del blowdown in fase liquida e in fase vapore; level swelling.
- **Flooding e CCFL:** fenomenologia; aspetti termoidraulici; onset of flooding; CCFL; calcolo della flooding curve.
- **Condensazione:** fenomenologia; aspetti termoidraulici; condensazione omogenea; condensazione per contatto diretto; dropwise condensation vs. filmwise condensation; calcolo dello spessore del film di condensato e dell'HTC.
- **Identificazione e caratterizzazione dei fenomeni termoidraulici nei LWR:** effetti separati; effetti integrati; problema dello scaling; stratificazione; loop seal effect; boron dilution; siphon condensation; flow reversal; CCFL; TPCF.
- **Validazione ed incertezza nelle predizioni dei codici termoidraulici:** V&V; BEPU; ITF;
- **Circolazione naturale nei LWR:** Circolazione naturale nei PWR; circolazione naturale nei BWR; fenomeni connessi alla NC; potenza massima removibile per NC; instabilità connesse alla circolazione naturale.
- **Analisi termoidraulica dei LOCA:** fenomenologia; aspetti termoidraulici; LBLOCA nei PWR; LBLOCA nei BWR; SBLOCA nei PWR; SBLOCA nei BWR; andamenti della pressione, della PCT e del livello nei LOCA; analisi del blowdown; analisi del reflood e del quench front (Modello di Yamanouchi); andamento nel tempo della potenza di decadimento.
- **Aspetti termoidraulici dei principali incidenti nucleari:** TMI-2 (PWR, 1979), Chernobyl-4 (RBMK, 1986), La Salle (BWR, 1988), Fukushima 1-4 (BWR, 2011).

master
COPY
COPISTERIA
050/8312126 388/9837745

Termoidraulica

La termoidraulica é il mezzo che ci permette di prevedere:

- Salti di pressione
- Scambio di calore
- Grado di vuoto
- Andamenti di un transitorio in un impianto

Oppure in accordo con Nam Dinh la via di:

- Produrre immagini colorate e impressionabili
- Utilizzare infinite volte PDE che sono "incompatibili" con la fisica

Capitolo 1: Tecnologia dei NPP

Richiamiamo velocemente i concetti principali di un impianto LWR.

- Reattori moderati e refrigerati ad H_2O
- Fuel UO_2 (per ora)
- Più diffusi PWR & BWR

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

PWR

Reattore termico a ciclo indiretta. La fissione é causata da n_{lenti} principalmente e l'energia alla quale avviene é 0.025 eV. Ogni fissione produce circa 200 MeV.

La scelta é ricaduta sull' H_2O perché questa ha un basso costo, un alto valore dell'HTC e una elevata disponibilitá.

La pressione del circuito primario é ~ 15 MPa mentre nel lato vapore si passa dai ~7 MPa in ingresso alla turbina di alta pressione ai ~600 Pa nel condensatore. Il rendimento termodinamico medio si assesta