CTL for Petri nets

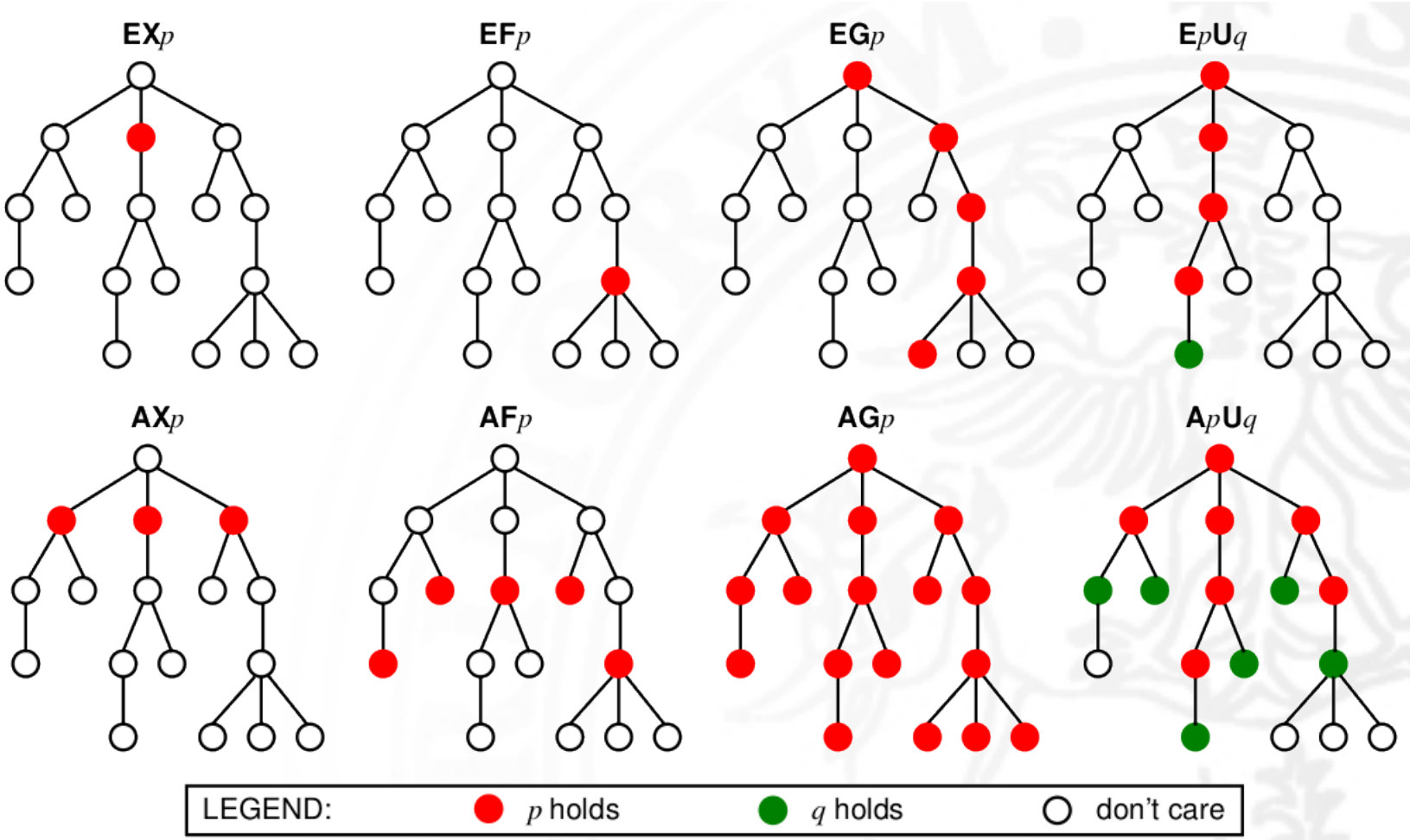
using GreatSPN

CTL su Kripke vs Petri net

- Abbiamo visto come CTL è definito sulle strutture di Kripke (stati, transizioni, etichette sugli stati).
- Il reachability graph di una Petri net è simile, ma più ricco:
  - Ogni stato è una marcatura (variabili intere sui posti) e non da etichette booleane
  - Le transizioni hanno un nome.

CTL per Petri net

- Formule CTL:
  - **state formula**: assumono valore booleane per ciascuna marcatura dell'RG
    - p, q, p && q, !q
    - Le formule atomiche (p,q) sono esprimibili come espressioni sui token dei posti, o come condizioni di abilitazione sulle transizioni.
  - **path formula**: assumono valore boolean per ciscuna marcatura presa come radice di un cammino.
    - EX p, E p U q, AG q



EX, *EU*, and *EG* form a complete set of CTL operators, since:

- $AXp = \neg EX \neg p$
- $AFp = \neg EG \neg p$
- $EFp = E\,true\,Up$
- $AGp = \neg EF \neg p$
- $ApUq = \neg(E \neg qU(\neg p \wedge \neg q)) \wedge \neg EG \neg q$

Sat-set di CTL

- La valutazione di CTL assegna un valore di verità ad ogni stato del RS, che indica se la formula è soddisfatta in quello stato.
- L'insieme di stati che soddisfano una formula Φ si chiama Sat(Φ), o anche il Sat-set di Φ.
- Una formula CTL Φ è soddisfatta nella marcatura iniziale, sse: $m_0 \in$ Sat(Φ).

CTL formula grammar

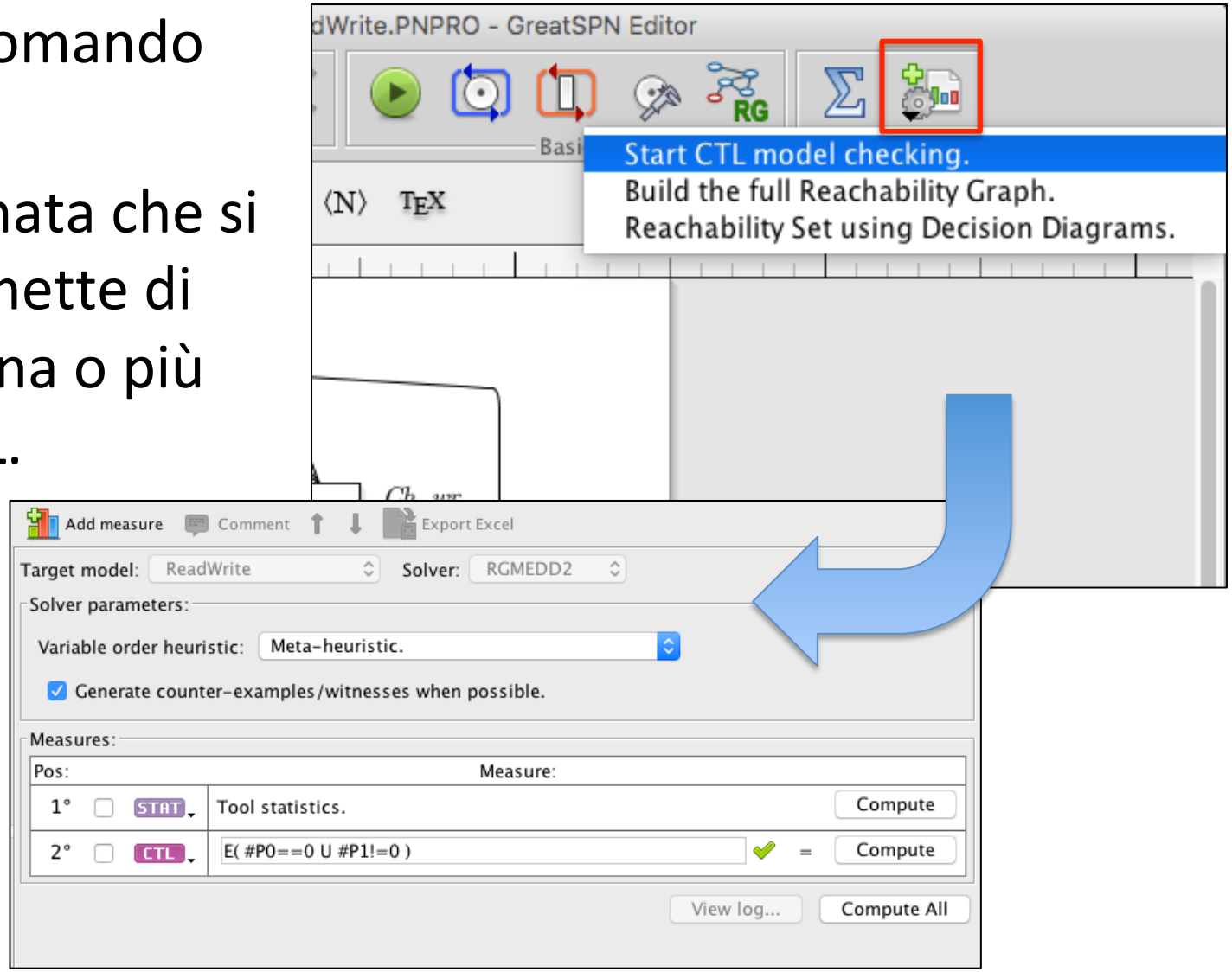
⟨*CTLformula*⟩	::=	⟨*atomicProposition*⟩ | ⟨*CTLformula*⟩ |
		⟨*CTLformula*⟩ " && " ⟨*CTLformula*⟩ |
		⟨*CTLformula*⟩ "||" ⟨*CTLformula*⟩ |
		"!" ⟨*CTLformula*⟩ | ⟨*CTLformula*⟩ "->" ⟨*CTLformula*⟩ |
		"E" "X" ⟨*CTLformula*⟩ | "E" "G" ⟨*CTLformula*⟩ |
		"E" "[" ⟨*CTLformula*⟩ "U" ⟨*CTLformula*⟩ "]" |
		"A" "X" ⟨*CTLformula*⟩ | "A" "F" ⟨*CTLformula*⟩ |
		"E" "F" ⟨*CTLformula*⟩ | "A" "G" ⟨*CTLformula*⟩ |
		"A" "[" ⟨*CTLformula*⟩ "U" ⟨*CTLformula*⟩ "]"
⟨*atomicProposition*⟩	::=	⟨*inequality*⟩ | ⟨*boolvalue*⟩ | "ndeadlock" | "deadlock" | *"en" (trans)*
⟨*boolvalue*⟩	::=	"true" | "false"
⟨*inequality*⟩	::=	"(" ⟨*expression*⟩ ⟨*comp_oper*⟩ ⟨*number_expr*⟩ ")"
⟨*comp_oper*⟩	::=	"<" | ">" | "<=" | ">=" | "=" | "! ="
⟨*expression*⟩	::=	"(" ⟨*expression*⟩ ⟨*arit_oper*⟩ ⟨*number_expr*⟩ ")" | ⟨*term*⟩ |
		"(" ⟨*number_expr*⟩ ")"
⟨*arit_oper*⟩	::=	"+" | "−" | "∗" | "/"
⟨*term*⟩	::=	⟨*number_expr*⟩ "∗" ⟨*var*⟩ | ⟨*number_expr*⟩ "/" ⟨*var*⟩ | ⟨*var*⟩
⟨*number_expr*⟩	::=	"(" ⟨*number_expr*⟩ ⟨*arit_oper*⟩ ⟨*number_expr*⟩ ")" | ⟨*number*⟩
⟨*var*⟩	::=	" # " place_name
⟨*numbr*⟩	::=	$\mathbb{R}^+$

<var> è il numero di token in un posto, e si scrive come: #P0 (con il # davanti)

Avviare analisi CTL di una Petri net

Usare il comando apposito.

La schermata che si apre permette di inserire una o più query CTL.

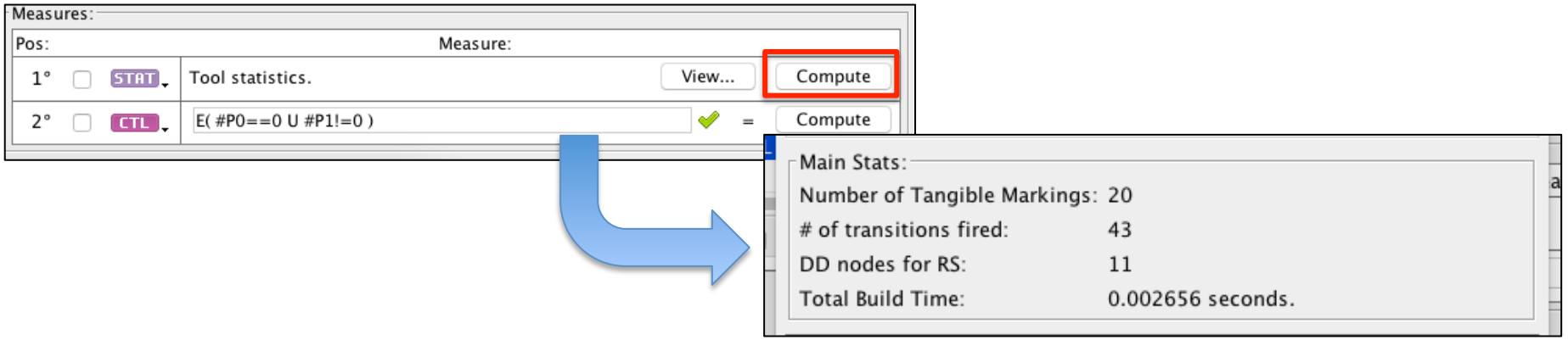


Analisi CTL di Petri nets

- RGMEDD: un model checker CTL di GreatSPN.
- Funziona con reti P/T, senza colori. Per fare CTL su una rete colorata, si deve prima farne l'unfolding.

RGMEDD: un model checker CTL

- RGMEDD è il model checker CTL di GreatSPN.
- Ha 2 parametri:
  - l'algoritmo per il variable order.
  - la generazione dei contro-esempi CTL (vediamo dopo)
- Calcolare le STAT permette di vedere il numero di marcature nel RS, ed il numero di nodi dell'MDD.



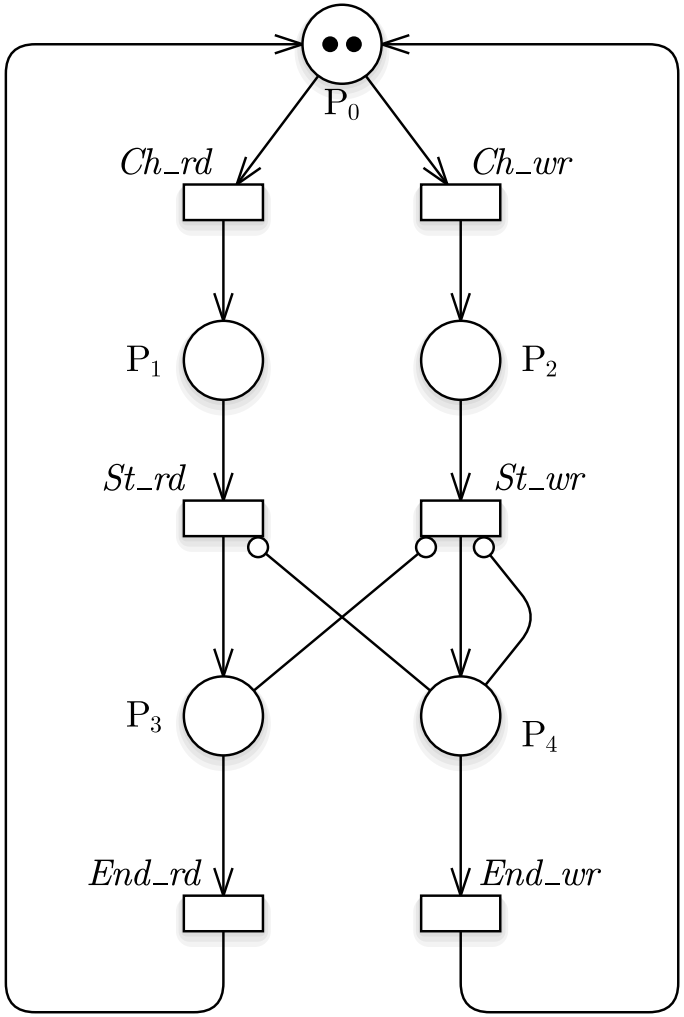
Valutazione di query CTL

- Per ogni query CTL valutata, il programma riporta il valore finale true/false, che indica se la query è soddisfatta nella marcatura iniziale.

ATTENZIONE: una query CTL potrebbe risultare falsa proprio perchè non è vera in m_0, pur essendo vera in altre marcature.

- Il log riporta un'analisi più dettagliata della query:
  - Viene riportata l'analisi di ogni sotto-formula.
  - per ogni sotto-formula, viene riportata la cardinalità del Sat-set generato.
  - Se la formula è falsa, il sistema prova a mostrare un contro-esempio. Se la formula è vera, il sistema prova a mostrare un esempio (witness) che soddisfa la formula.

Esercizi sul modello Reader/Writer



- Formulare una query CTL per chiedere se può esistere una marcatura raggiungibile dove ci sono due lettori nella sezione critica (cioè P3 ha 2 token).

EF #P3 == 2

Interpretare l'output di RGMEDD

- EF #P3==2
- RGMEDD genera il seguente output:

```
Processing: E F (P3 = 2)  ->  bool
Eval: P3
    0.000103 sec.
Eval: (P3 = 2)
    0.000070 sec.  card = 1
Eval: E F (P3 = 2)
    8 steps:      0.000486 sec.  card = 15
--- EF #P3==2 ---
      Formula name: MEASURE0
      Evaluation: true
      Sat-set generation time: 0.000779 sec
      Evaluation time: 0.000793 sec
```

- RGMEDD genera anche un esempio di traccia che verifica la query.

Generated witness:

Initial state is: P0(2)
Initial state satisfies: E F (P3 = 2).

1: P0(2)
State 1. does not satisfy: (P3 = 2).

2: P1(1), P0(1)
State 2. does not satisfy: (P3 = 2).

3: P1(2)
State 3. does not satisfy: (P3 = 2).

4: P3(1), P1(1)
State 4. does not satisfy: (P3 = 2).

5: P3(2)
State 5. satisfies: (P3 = 2).

Attenzione: solo le query esistenziali possono generare esempi/controesempi.

L'esempio è una traccia che, partendo da m_0, raggiunge uno stato che soddisfa #P3==2.

Esercizio

- In tutte le esecuzioni del modello, esiste sempre un cammino dove un lettore in attesa entra nella sezione critica (cioè passa da #P1>0 a #P3>0).

AF E[#P1>0 U #P3>0]

(considerare anche il modello con fair scheduling)

Esercizio

- In ogni esecuzione del modello si può sempre trovare, ad un certo punto, uno scrittore nella sezione critica (#P4>0).

AF #P4 > 0

(considerare anche il modello con fair scheduling)

Esempi e contro-esempi

- Non è possibile generate esempi/controesempi per tutte le formule:
  - Solo per le **formule esistenziali vere** si può trovare un esempio.
  - Solo per le **formule universali false** si può trovare un controesempio.

- Esercizi:
  - AF (#P4==1 -> AX #P4 == 0): vera
    - vera in quanto tutte le traccie soddisfano la formula, una singola traccia non è significativa.
  - EF (#P4>0 && #P3>0): falsa
    - falsa in quanto non esiste una traccia che soddisfa #P4>0 && #P3>0 in qualche marcatura. Dunque non si può mostrare un contro-esempio.

Deadlock

- Il tool supporta due etichette speciali per gli stati:
  - deadlock: lo stato non attiva nessuna transizione
  - ndeadlock: gli stati non deadlock.
- Come si chiede se dalla marcatura iniziale si può raggiungere un deadlock?
- Come si chiede che l'RS non abbia nessun deadlock?

Qual è la differenza tra EF deadlock e AF deadlock?