

# Considerazioni sulle fluttuazioni dei wall time di esecuzione del modello WRF sul cluster FENICE

Dario Giaiotti<sup>1</sup>

## Sommario

In questo articolo viene sintetizzata l'analisi eseguita sui tempi di calcolo del modello meteorologico WRF, nella situazione di peggioramento delle performances del Cluster FENICE. L'analisi ha permesso di individuare una criticità derivante dall'obsolescenza del sistema di gestione dello storage.

## Keywords

cluster FENICE, tempi calcolo, usura storage

<sup>1</sup> ARPA FVG - CRMA

\*Autore di riferimento: Dario.Giaiotti@arpa.fvg.it

## Indice

1	<b>Introduzione</b> .....	1
2	<b>Dettagli dei run operativi e concomitanza di altre esecuzioni</b> .....	1
3	<b>Considerazioni sui tempi di wall time, utilizzo della CPU e della memoria</b> .....	1
4	<b>Interpretazione delle due famiglie di punti</b> .....	7
5	<b>Interpretazione dell'aumento della dispersione dei wall time</b> .....	8
6	<b>Conclusioni</b> .....	10
	<b>Sitografia e Bibliografia</b> .....	10

## 1. Introduzione

Il modello meteorologico WRF viene eseguito quotidianamente, quindi con continuità, sul cluster di calcolo FENICE dal 19/09/2015, utilizzando tutti e 4 i nodi computazionali della coda di calcolo **hp**, ciascuno dei quali è dotato di 32 core. Dai primi test eseguiti all'inizio dell'anno 2015 e dopo le prime esecuzioni operative in settembre 2015, il tempo di esecuzione del modello, sul dominio di calcolo e la finestra temporale di previsione operativi al CRMA, è stato calcolato in 80 minuti con una deviazione standard di 4 minuti.

Inaspettatamente, la stabilità del tempo di esecuzione, cioè il wall time del job sottoposto alla coda di calcolo, ha subito delle notevoli fluttuazioni negli ultimi mesi, distribuendosi in un intervallo compreso tra gli 80 e i 110 minuti. Visto il significativo aumento della dispersione dei tempi, con inevitabili conseguenze sui tempi di generazione dei prodotti modellistici di ARPA FVG, si è deciso di investigarne i motivi.

## 2. Dettagli dei run operativi e concomitanza di altre esecuzioni

Le esecuzioni operative del modello WRF occupano tutti i nodi computazionali della coda **hp**, quindi non ci sono processi concorrenti eseguiti dagli utenti sugli stessi nodi computazionali.

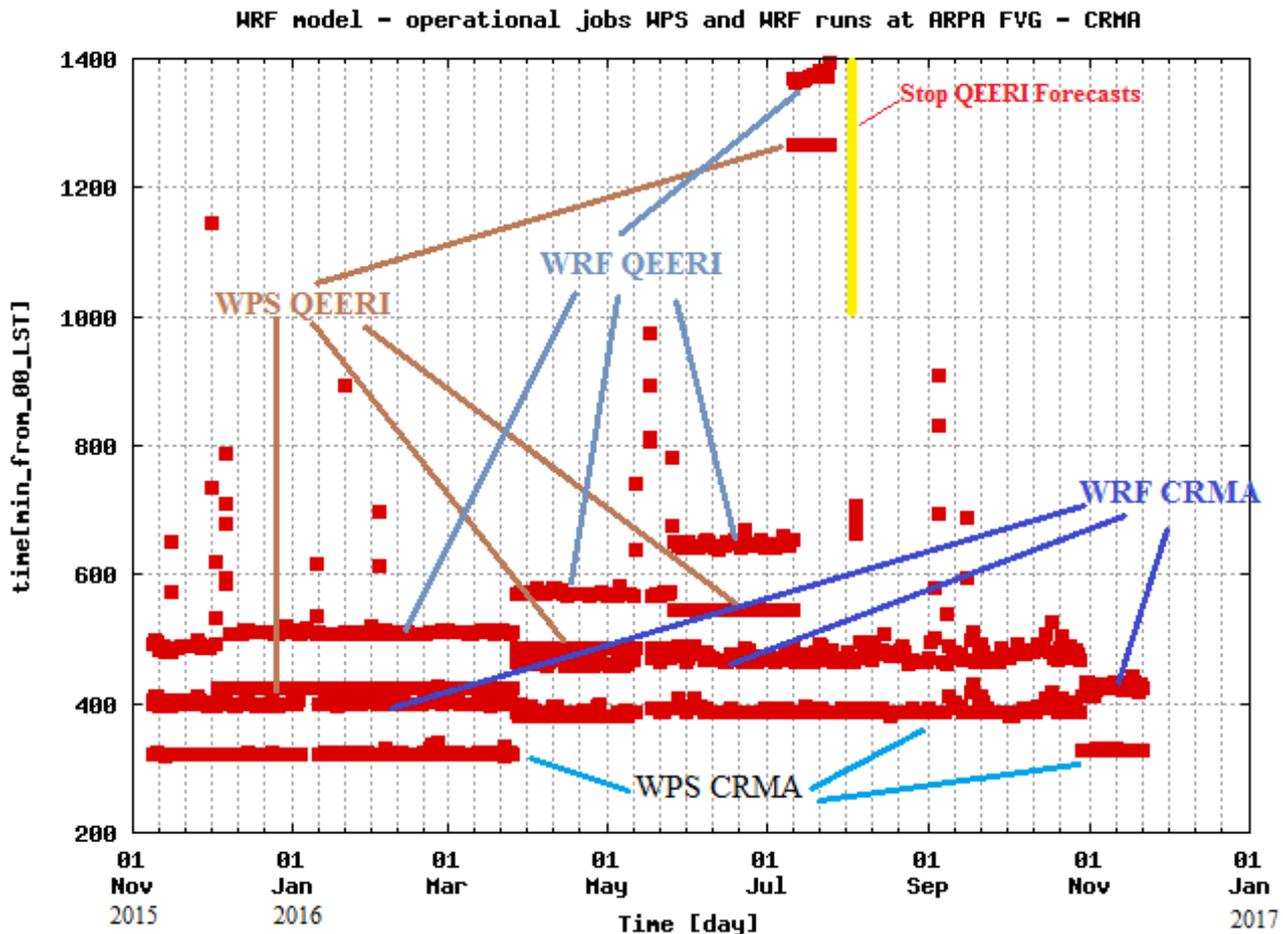
Non sono escluse computazioni sulla coda **arpa** che potrebbero coinvolgere scritture sul **file system lustre**, dove anche il modello WRF scrive durante l'esecuzione; ad ogni modo eventuali concomitanze di esecuzioni sulla coda **arpa** durante i run operativi del WRF sono piuttosto rare. Infatti le esecuzioni sono svolte di primo mattino, solitamente verso le ore 04:30 UTC.

Dall'inizio di novembre 2015 al 25 luglio 2016, un secondo run del modello WRF è stato eseguito su un dominio avente esigenze computazionali analoghe a quelle del dominio operativo, ma riguardante un'area geografica diversa. Tali esecuzioni, indicate per brevità run **QEERI**, sono state svolte in ore immediatamente successive al run operativo. Vedi figura (fig.1).

## 3. Considerazioni sui tempi di wall time, utilizzo della CPU e della memoria

La serie temporale dell'utilizzo della memoria, vedi figura (fig.2), conferma che non ci sono state variazioni nell'utilizzo dei nodi computazionali, nell'esecuzione del preprocessore e del modello meteorologico, a parte la riduzione del numero di nodi usati per il run **QEERI**, passato da quattro a tre dagli inizi di maggio 2016 fino al termine dei run, il 25 luglio. Tale scelta fu conseguenza della necessità di lasciare maggior risorse di calcolo al post processing del run operativo.

L'altro cambiamento temporaneo, della durata di pochi giorni, ha riguardato l'utilizzo di solo tre nodi computazionali per l'esecuzione operativa del modello WRF all'inizio di dicembre 2015 quando l'assistenza eXact segnalò problemi sul **nodo hp01**. I problemi riguardavano la rete infini-



**Figura 1.** Serie temporale dei tempi di conclusione dei run del modello WRF e del suo preprocessore WPS. I tempi sono espressi in minuti a partire dalle ore 00:00 locali. Si notino le discontinuità prodotte dai passaggi all'ora legale e viceversa. Gli ultimi run QEERI, nel mese di luglio 2016, erano stati spostati a fine giornata per lasciare risorse calcolo a disposizione degli utenti.

band, verosimilmente la scheda di rete del nodo, e l'uso di solo un numero ridotto di core rispetto ai nominali 32.

La serie temporale dei wall time dei run operativi WRF e QEERI sono presentati nella figura (fig.3).

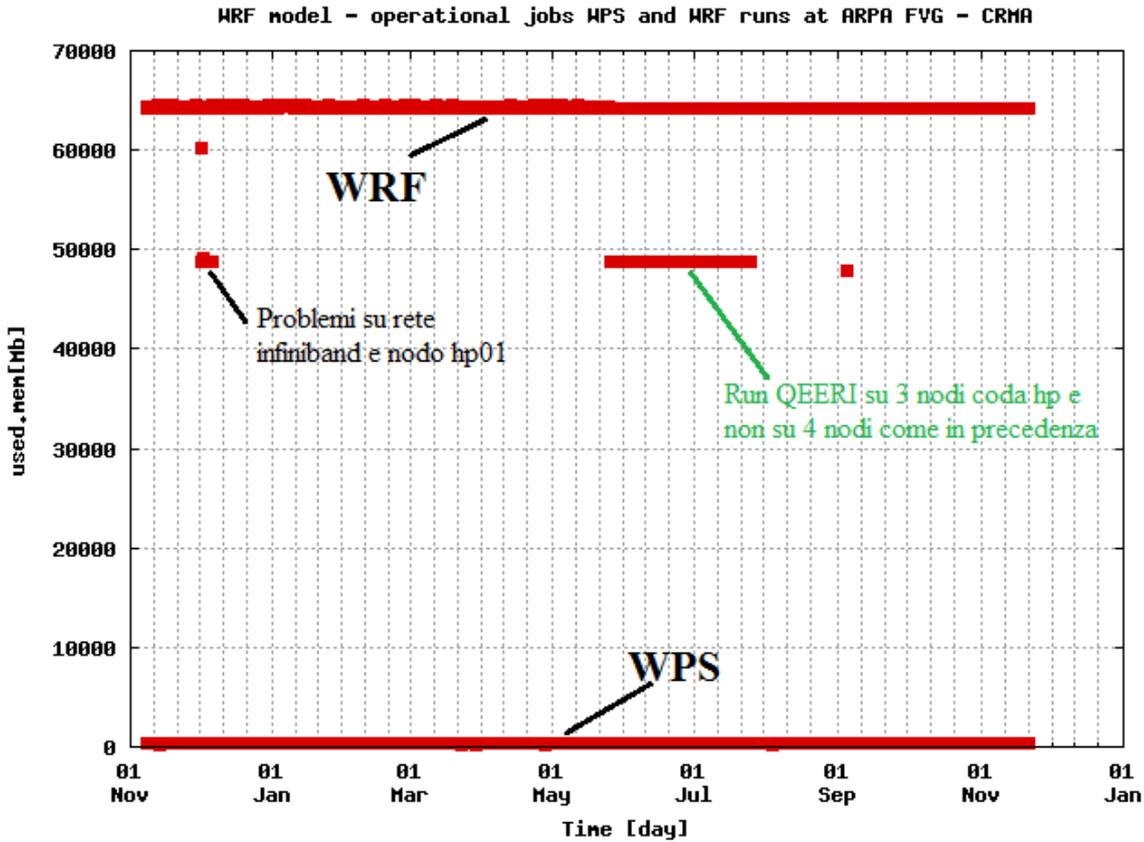
La notevole dispersione dei valori nei mesi di maggio, giugno e luglio sono attribuibili ai run QEERI che condividevano la rete e risorse di calcolo con altre esecuzioni. Invece *la dispersione osservata negli ultimi due mesi non è stata ancora compresa, visto che le esecuzioni sono sicuramente solo quelle del run operativo che è l'unico ad occupare tutti i nodi computazionali della coda hp, in un orario in cui gli utenti non utilizzano altre risorse del cluster.*

Osservando le serie temporali del tempo di utilizzo complessivo dei core, vedi figura (fig.4), si nota che la dispersione dei wall time nell'ultimo mese è correlata con l'analoga dispersione del cpu time. Tale correlazione non è evidente nel periodo estivo, probabilmente a causa della sovrapposizione dei dati delle esecuzioni operative e di quelle del QEERI.

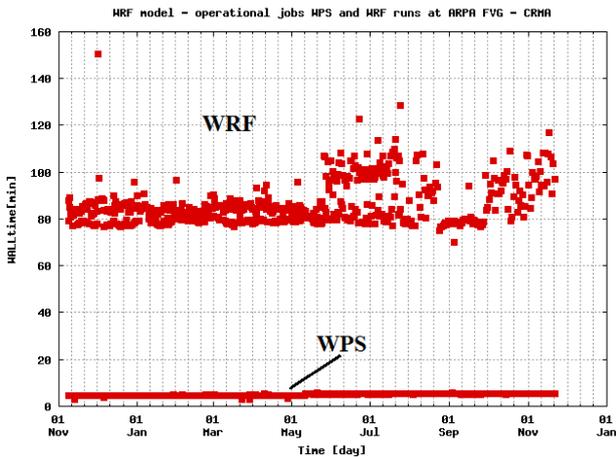
Eseguendo il rapporto tra i tempi di wall time e di utilizzo delle cpu, ovvero il cpu time, si nota che la dispersione osservata nelle serie temporali si manifesta con l'appartenenza dei punti a due famiglie ben distinte. Nella figura

(fig.5) viene presentato il grafico a dispersione delle due grandezze: i punti giacciono su due rette aventi intercetta prossima zero, ma pendenza diversa.

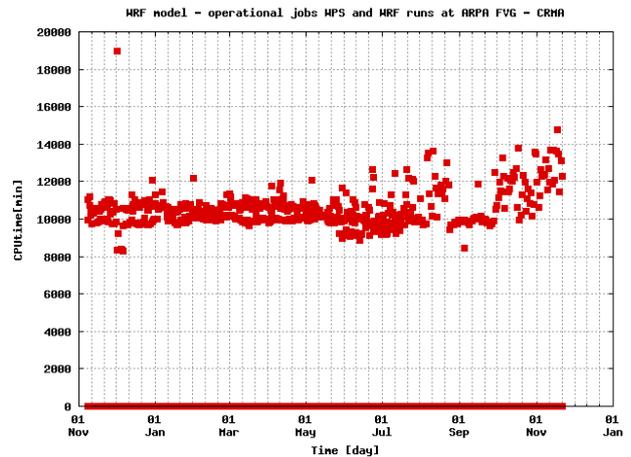
Nelle figure che seguono, quelle della serie da fig.06a a fig.06o (fig.6), sono presentate le misure mensili di wall time e di cpu time. Si noti che con il passare dei mesi, la dispersione dei punti è aumentata, specialmente per l'insieme di quelli che appartengono alla retta avente pendenza minore, tra i quali vi sono verosimilmente tutte le esecuzioni operative di WRF su quattro nodi computazionali.



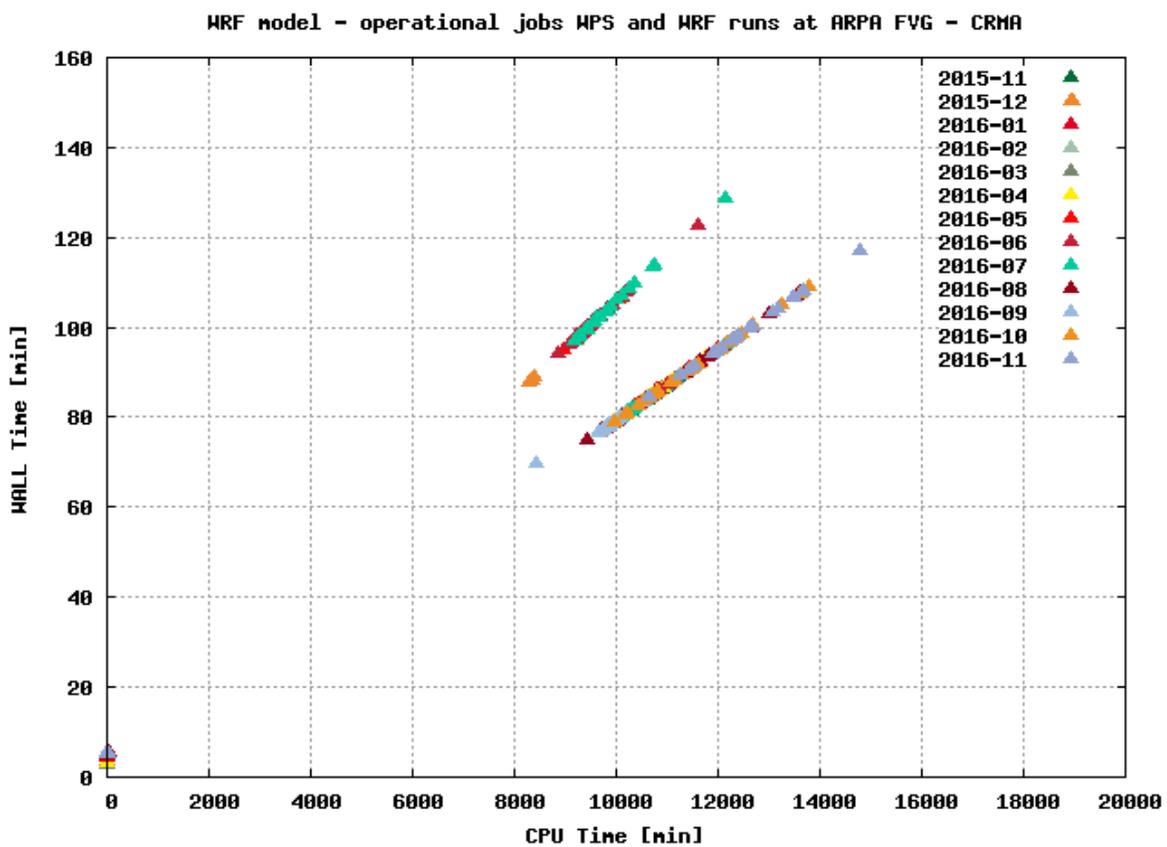
**Figura 2.** Serie temporale dell'utilizzo della memoria per ciascuna esecuzione del modello WRF in funzione dei giorni, dall'inizio dell'utilizzo operativo del cluster FENICE. Sono riportati i cambiamenti di configurazione dei run in funzione di problemi o di scelte adottate per ottimizzare le risorse di calcolo in funzione delle esigenze del CRMA.



**Figura 3.** Serie temporale dei tempi di wall time delle esecuzioni del modello WRF. Sono indicate le tempistiche dei job che eseguono il preprocessore WPS e quelle del modello WRF.



**Figura 4.** Serie temporale dei tempi di utilizzo complessivo dei core per le esecuzioni del preprocessore WPS, valori prossimi a zero e del modello WRF, la serie in alto nel grafico.



**Figura 5.** Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF, sia quelle operative che quelle QEERI. I colori diversi dei punti stratificano i dati in funzione del mese in cui sono avvenuti i run. Si noti che i punti appartengono a due famiglie ben distinte. Nella parte in basso a sinistra del grafico sono presenti i valori riguardanti le esecuzioni del preprocessore WPS per tutti i run, sia quelli operativi che quelli QEERI.

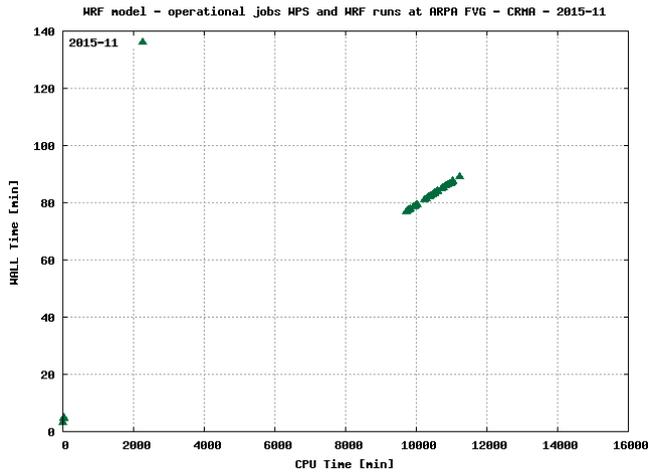


Fig.06a. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **novembre 2015**.

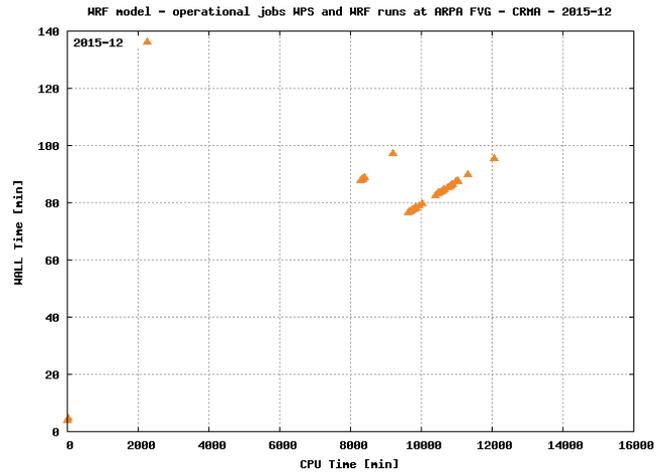


Fig.06b. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **dicembre 2015**.

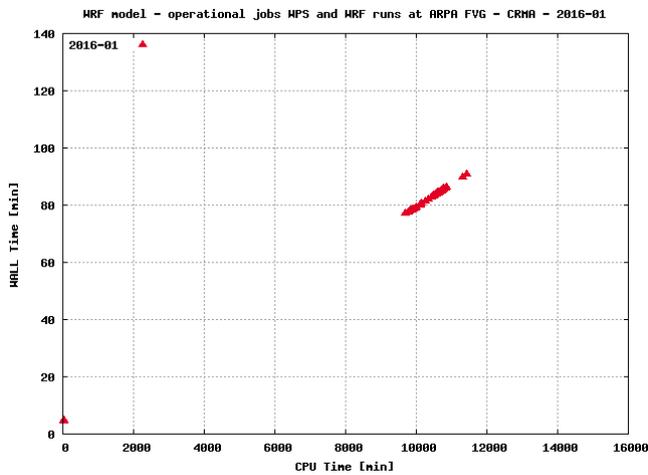


Fig.06c. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **gennaio 2016**.

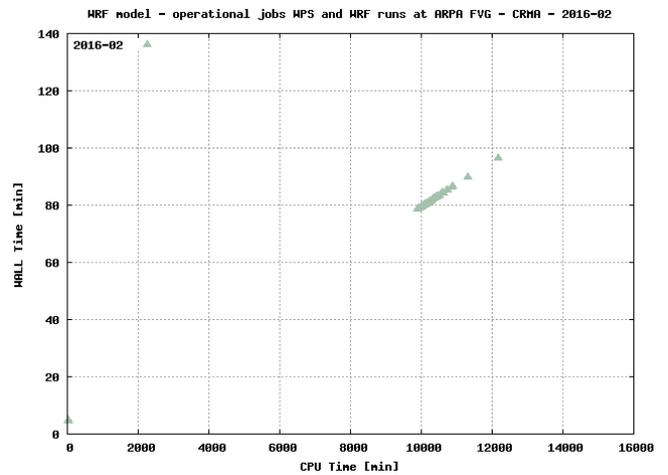


Fig.06d. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **febbraio 2016**.

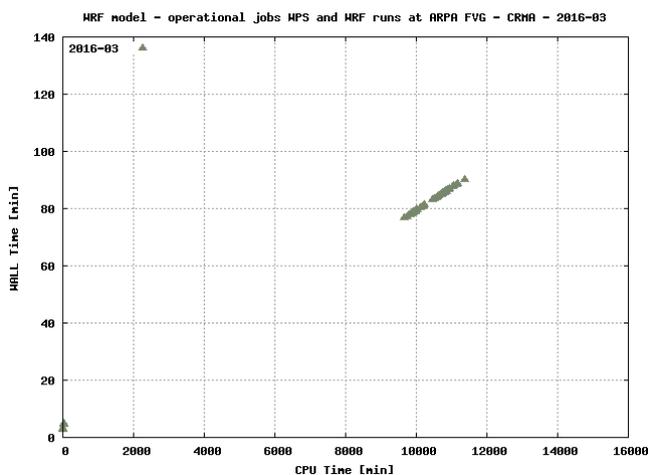


Fig.06e. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **marzo 2016**.

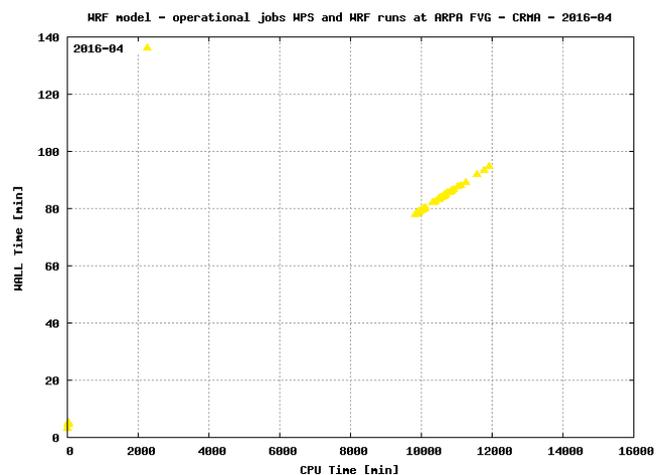


Fig.06f. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **aprile 2016**.

**Figura 6** Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF (da fig.6a novembre2015 a fig.6f aprile 2016).

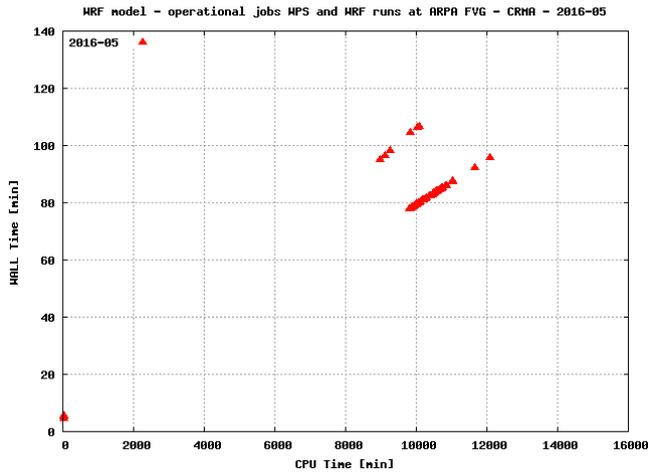


Fig.06g. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **maggio 2016**.

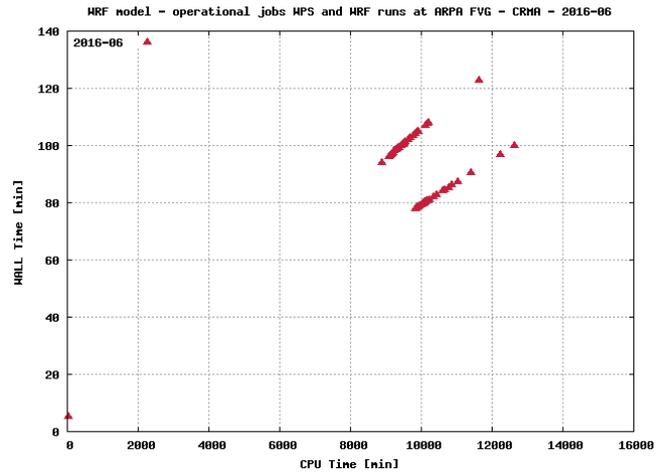


Fig. 06h. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **giugno 2016**.

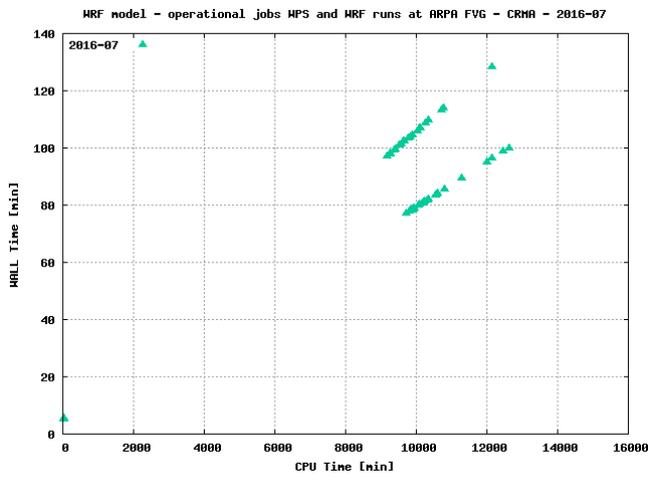


Fig.06i. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **luglio 2016**.

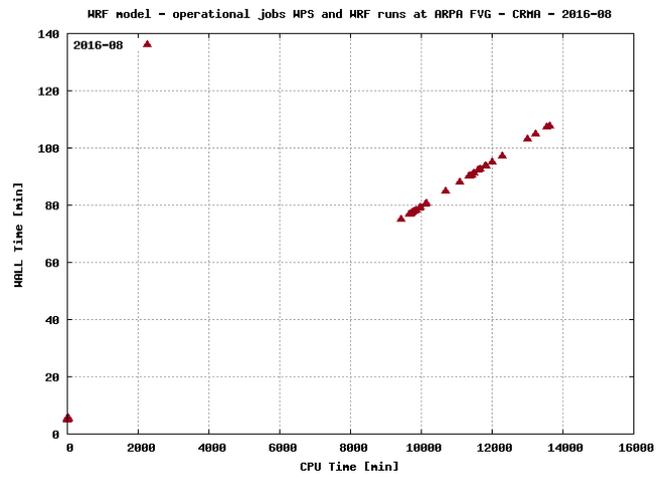


Fig.06l. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **agosto 2016**.

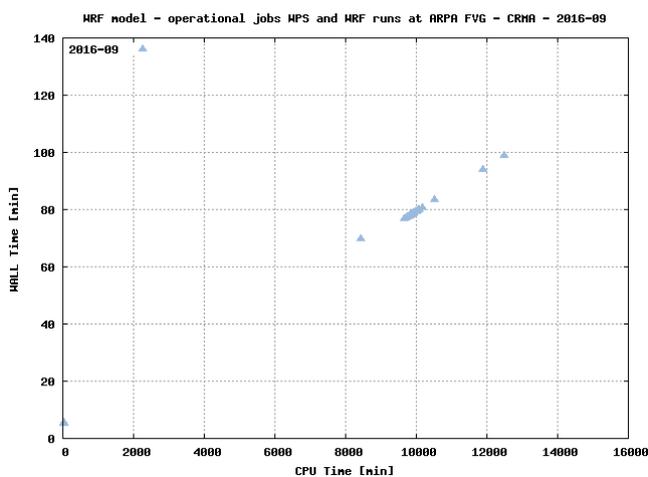


Fig.06m. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **settembre 2016**.

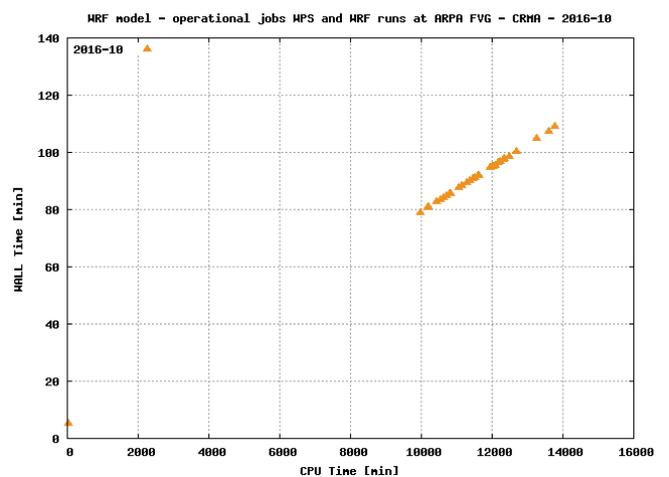
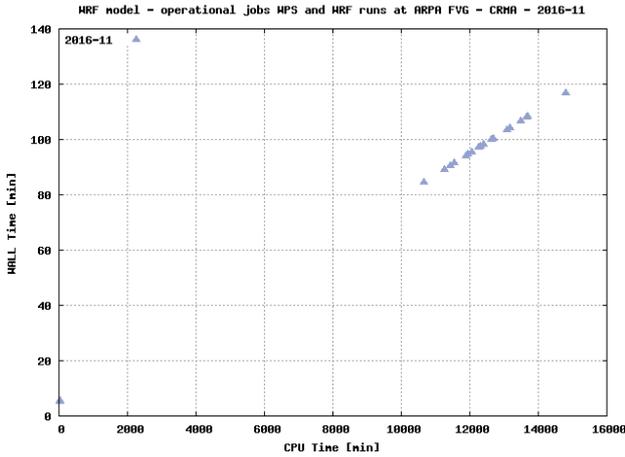


Fig.06n. Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **ottobre 2016**.

**Figura 6** Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF (da fig.6g maggio 2016 a fig.6n ottobre 2016).



**Figura 6.** Misure del wall time e del cpu time per tutte le esecuzioni del modello WRF nel mese di **novembre 2016**. Nella parte in basso a sinistra dei grafici, da fig.6a novembre 2015 a fig.6b novembre 2016, sono presenti i valori riguardanti le esecuzioni del preprocessore WPS.

#### 4. Interpretazione delle due famiglie di punti

La presenza di due famiglie nei grafici in cui il wall time viene riportato in funzione della cpu time porta a pensare che tali famiglie siano il risultato di cambi di configurazione dell'esecuzione del modello WRF, in particolare che sia l'aumento del tempo di comunicazione tra i nodi il responsabile della diversa pendenza tra le due rette su cui si collocano i punti.

Un calcolo, seppur approssimato delle due pendenze indica che per la retta più pendente, indicata come retta n.1, la pendenza è  $m_1 = 0.011 \pm 0.001$ , mentre per la retta meno pendente, chiamata retta n.2, la pendenza è  $m_2 = 0.008 \pm 0.001$ . Il rapporto tra le due pendenze corrisponde a  $m_1/m_2 = 1.375$ .

Assumendo che il wall time sia composto dalla parte di tempo impiegato per l'esecuzione del codice da parte dei core che compongono le CPU e dalla parte di tempo impiegata nella comunicazione tra nodi di calcolo e tra core all'interno di nodi di calcolo, si è deciso di esprimere il wall time in funzione del cpu time, del numero di nodi e di core per nodo, assumendo una dipendenza lineare del tempo di comunicazione da volume di dati scambiati e dal numero di nodi coinvolti. Il volume di dati scambiati viene considerato proporzionale al cpu time, quindi il tempo di comunicazione è proporzionale al numero di nodi coinvolti nel calcolo e al tempo di cpu.

$$t_w = \frac{t_c}{nc} + t_s \tag{1}$$

dove sono indicati rispettivamente  $t_w$  il wall time,  $t_c$  il CPU time,  $n$  il numero di nodi,  $c$  il numero di core per nodo e  $t_s$  il tempo impiegato nella comunicazione.

Esprimendo  $t_s$  come funzione lineare del cpu time  $t_c$  e del numero di nodi tra i quali avviene la comunicazione  $n$ , inoltre assumendo che la velocità di comunicazione all'interno del nodo sia molto maggiore di quella tra i nodi, il

wall time si esprime come segue:

$$t_w = \frac{t_c}{nc} + \alpha t_c n \tag{2}$$

dove  $\alpha$  è la costante di proporzionalità utilizzata per esprimere il tempo impiegato nella comunicazione.

Assumendo che il tempo impiegato per la comunicazione sia molto più piccolo rispetto al tempo complessivo impiegato dai core per il calcolo, situazione verosimile per le esecuzioni del modello WRF, si deduce che la costante  $\alpha$  deve essere molto minore dell'unità.

La pendenza di ciascuna delle rette osservate nel grafico può essere espressa come segue:

$$m_i = \frac{t_w(i)}{t_c(i)} = \frac{1}{n_i c_i} + \alpha_i n_i \quad \forall i \in \{1, 2\} \tag{3}$$

Conseguentemente il rapporto tra le pendenze delle due rette diventa funzione del numero di nodi coinvolti e del numero di core per nodo

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\frac{1}{n_1 c_1} + \alpha_1 n_1}{\frac{1}{n_2 c_2} + \alpha_2 n_2} \tag{4}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{n_2 c_2}{n_1 c_1} \frac{1 + \frac{\alpha_1}{c_1}}{1 + \frac{\alpha_2}{c_2}} \tag{5}$$

Nel caso osservato ovvero  $m_1/m_2 = 1.375$  ci sono due possibili interpretazioni:

- le costanti di proporzionalità che descrivono il tempo di comunicazione sono uguali per le due famiglie, pertanto il valore ottenuto esprime sostanzialmente il rapporto tra il numero di core utilizzati;
- il numero di core utilizzati è uguale per le due famiglie e ci sono diverse costanti di proporzionalità che indicano velocità diverse di comunicazione.

Osservando che le due famiglie di punti sono presenti principalmente da maggio a luglio 2016, periodo in cui le esecuzioni QEERI erano state portate a termine con solo tre nodi computazionali, e che i pochi punti collocabili sulla retta a maggior pendenza, osservati nel grafico per il mese di dicembre 2015, sono imputabili all'esecuzione del modello WRF operativo su tre nodi computazionali, a seguito del problema riscontrato sul nodo hp01, si conclude che il rapporto tra le due pendenze deve esprimere il rapporto tra il numero totale di core utilizzati nelle esecuzioni. In particolare essendo i nodi computazionali della coda hp tutti uguali, ovvero hanno lo stesso numero di core, il rapporto esprime il rapporto tra il numero di nodi usati nel calcolo. Tale valore è  $4/3 = 1.333$  il quale è confrontabile, considerati le incertezze di misura, con il valore ottenuto eseguendo il rapporto tra le due pendenze.

Sulla base delle considerazioni fatte, è stato calcolato il valore della costante  $\alpha$  che corrisponde a  $1.94 \cdot 10^{-4}$  nel caso venga utilizzata  $m_1$ , mentre si ottiene il valore  $4.69 \cdot 10^{-5}$  nel caso di  $m_2$ . Le dimensioni della costante sono quelle di un numero puro.

## 5. Interpretazione dell'aumento della dispersione dei wall time

e far temere un'interruzione inattesa dell'operatività sul cluster FENICE.

Appurato che le due famiglie di rapporti tra tempi di wall time e CPU time sono spiegabili in termini di numero di nodi computazionali utilizzati, resta ancora poco chiaro il perché la dispersione di entrambi i tempi sia aumentata nel corso dei mesi. Essendo il rapporto tra i tempi costante, all'interno di ciascuna famiglia, si deduce che il wall time aumenta in conseguenza dell'aumento del tempo impiegato dalle CPU per portare a termine l'esecuzione del modello.

Alcune ipotesi su quali possono essere i motivi di un maggior utilizzo di CPU, possono essere:

- a la situazione meteorologica simulata richiede l'intervento di maggior tempo di calcolo per convergere. Si pensi ad esempio a situazioni piovose in cui gli schemi convettivi sono chiamati più spesso per risolvere la formazione di correnti ascendenti intense, tipiche delle celle convettive;
- b il codice ci mette più tempo per scrivere sul filesystem i file di output. Questo dovrebbe conseguire da un deterioramento delle capacità del sistema di calcolo.

Si spera che le informazioni riportate in questo rapporto possano essere utili anche alla progettazione e alla realizzazione di sistemi di calcolo ad alte performance, con particolare riferimento alla prossima ristrutturazione della FENICE.

### Ulteriori informazioni a supporto dell'ipotesi b)

Considerato che nella seconda metà del mese di novembre, sovente è capitato che job sottoposti alla coda arpa sono rimasti inattivi, occupando risorse di calcolo, e che tale inattività è correlata all'incapacità dei nodi calcolo arpa di scrivere sul file system lustre, si è indagato il carico di lavoro delle macchine che gestiscono lo storage del cluster, ovvero il file system lustre. Si tratta di quattro macchine da 4 core cadauna: le macchine sono denominate storage01, storage02, storage03 e storage04.

L'analisi del numero di processi in carico a ciascuno dei nodi evidenzia che ci sono delle situazioni di sovraccarico rispetto alle capacità hardware, cioè capita che alternativamente i nodi addetti alla scrittura sui dischi del file system lustre debbano sopportare un numero di processi maggiore rispetto ai quattro core disponibili. Si veda la serie di figure 7a (fig.7). Inoltre tale carico non pare essere distribuito tra i nodi, bensì si hanno situazioni di sofferenza per una delle macchine mentre le altre lavorano molto poco; vedi figure 7b (fig.7). Si tratta di situazioni di elevato stress per le macchine della durata di 5 minuti, che si manifestano circa due o tre volte all'ora.

Visto che tale comportamento non si presentava nei mesi precedenti lo scorso ottobre e che il carico di lavoro attribuito al cluster è aumentato progressivamente dall'inizio dell'anno, non solamente negli ultimi mesi, si rafforza l'ipotesi che lo storage della FENICE sia sofferente, tenuto anche conto dell'età dell'hardware. Queste ulteriori osservazioni portano a rafforzare l'ipotesi b) del paragrafo precedente

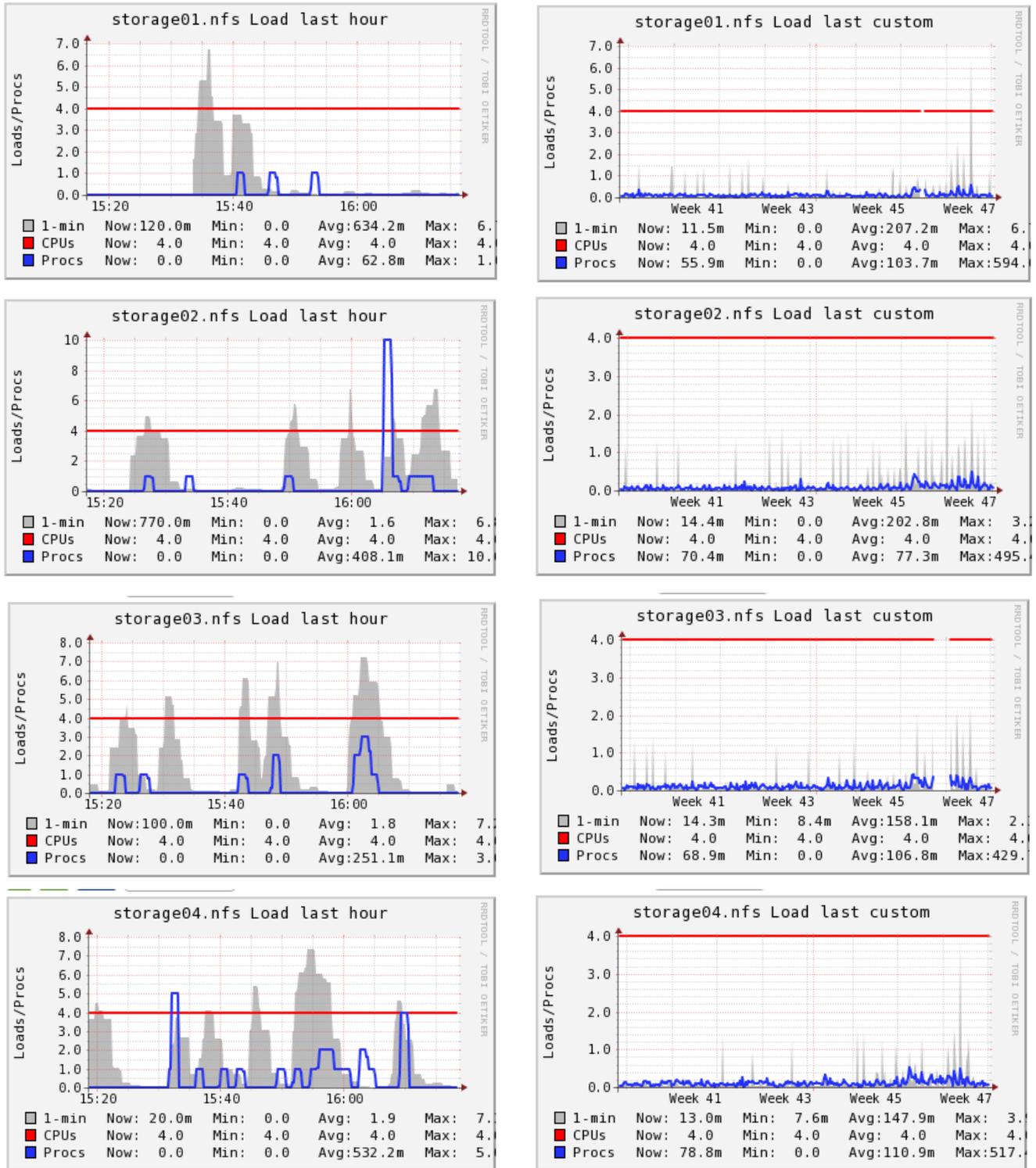


Figure 07a Serie temporali con degli esempi di carico dei nodi storage, tratti dalla giornata del 28/11/2016. Si noti che la soglia di quattro processi, linea rossa, viene superata nei carichi di lavoro mediati sul minuto, area grigia.

Figure 07b Stesse informazioni presentate nella serie 07°, ma estese al mese di ottobre e novembre dell'anno 2016. In questo caso si tratta di medie su periodi dell'ora.

Figura 7

## 6. Conclusioni

Visto il peggioramento delle performance del cluster FENICE si ritiene non trascurabile la probabilità di un crash del sistema di calcolo a partire dagli inizi del mese di novembre 2016.

Si propone di alleggerire il carico di calcolo sulla FENICE spostando immediatamente tutte le attività non operative su risorse di calcolo esterne e di verificare l'operatività dell'alimentazione dei sistemi di diffusione dei prodotti modellistici di ARPA FVG, a partire dalle simulazioni che attualmente sono eseguite sul sistema di calcolo COSILT, al fine di minimizzare il disagio per gli utenti in caso di crash della FENICE.

## Sitografia e Bibliografia



Copyright © ARPA FVG, 2016

*This work is released under the terms of the license*

*Creative Commons Attribution / NonCommercial / ShareAlike.*

*Information on how to request permission may be found at:*

[ARPA FVG-Aria-Elaborati tecnico-scientifici](#)



[ARPA FVG-Aria-Elaborati tecnico-scientifici](#)