

 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Frascati	<b>Laboratori Nazionali          di Frascati</b>		 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Frascati
		<b>DIVISIONE TECNICA E          DEI SERVIZI GENERALI</b>	
Numero DT <i>DT Number</i>	Data <i>Date</i>	Pagina <i>Page</i>	
<b>DT-FLTN-2014-06-13</b>	<b>13 Giugno 2014</b>	<b>1 di 20</b>	
Documento tipo / <i>Document type</i> <p style="text-align: center;"><b>TECHNICAL NOTE (TN)</b></p>			
Titolo / <i>Title</i> <p style="text-align: center;"><b>Upgrade raffreddamento DAFNE          Studio di fattibilità</b></p>			
Autori (DT se non diversamente indicato) / <i>Authors (DT if non differently indicated)</i> S. Cantarella, R. Ricci, U. Rotundo L. Pellegrino <sup>1</sup> <sup>1</sup> DA Divisione Acceleratori Laboratori Nazionali di Frascati - Via E. Fermi,40 -- I-00044 Frascati (Rome) Italy			
Indirizzo per comunicazioni / <i>Contact person</i> <a href="mailto:Ugo.Rotundo@Inf.infn.it">Ugo.Rotundo@Inf.infn.it</a>			
Parole chiave / <i>Keywords</i> Dry-cooler, torre evaporativa, chiller			
Riassunto / <i>Abstract</i> <p style="text-align: center;">         Questa nota tecnica riporta lo studio di fattibilità per l'upgrade del sistema di raffreddamento del Linac, dell'Acceleratore, della Criogenia e dei magneti degli anelli di accumulazione di DAFNE, al fine di modificare i circuiti primari di detti sistemi da "aperti" a "chiusi", ovvero senza rabbocco continuo di acqua.       </p>			
Nome file / <i>Filename</i>	Versione / <i>Version</i>	Distribuzione / <i>Distribution</i>	Visibilità / <i>Access</i>
<b>DT-FLTN-2014-06-13</b>	<b>1</b>	<b>DT</b>	<b>DESIGN</b>
Preparato / <i>Compiled</i>	Controllato / <i>Controlled</i>	Controllato / <i>Controlled</i>	Approvato / <i>Approved</i>
<b>Ugo Rotundo</b>	<b>Claudio Sanelli</b>		
13 Giugno 2014	13 Giugno 2014		





	Upgrade raffreddamento DAFNE	DT Numero / <i>Number</i>	Data / <i>Date</i>	Pagina / <i>Page</i>
		DT-FLTN-2014-06-13	13 Giugno 2014	4 di 20

## INDEX

<b>1</b>	<b>OBIETTIVI.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE IMPIANTI.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>IPOTESI DI INTERVENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>POTENZE IMPEGNATE .....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>DATI CLIMATICI.....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>LOGISTICA E SPAZI DISPONIBILI .....</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>COSTI D'IMPIANTO.....</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>COSTI DI ESERCIZIO .....</b>	<b>14</b>
<b>9</b>	<b>TEMPI DI INTERVENTO.....</b>	<b>17</b>
<b>10</b>	<b>SVILUPPI .....</b>	<b>18</b>
<b>11</b>	<b>ALCUNE CONSIDERAZIONI.....</b>	<b>19</b>
<b>12</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>20</b>

	Upgrade raffreddamento DAFNE	DT Numero / Number	Data / Date	Pagina / Page
		DT-FLTN-2014-06-13	13 Giugno 2014	5 di 20

## 1 OBIETTIVI

*Lo scopo del seguente lavoro è quello di studiare la fattibilità tecnica ed economica di un intervento sugli impianti di raffreddamento di DAFNE atto ad eliminare la dipendenza degli stessi dall'acqua potabile della rete dell'acquedotto cittadino.*

*Attualmente il carico termico del complesso DAFNE è dissipato in torri evaporative con un consumo di acqua medio di circa 2 litri/s.*

---

## 2 DESCRIZIONE IMPIANTI

### MAIN RINGS (DAFNE):

L'impianto di raffreddamento dei Main Rings è costituito da un circuito secondario ad acqua demineralizzata che circola nei magneti e nelle altre strutture dell'acceleratore, e da un circuito primario la cui acqua è raffreddata in torri evaporative. Il circuito primario raffredda il secondario tramite scambiatori di calore a piastre.

Nel secondario circola acqua a conducibilità inferiore a  $0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$  con una temperatura di mandata di  $32^\circ\text{C}$  e una temperatura di ritorno media di  $36.2^\circ\text{C}$  nelle attuali condizioni di portata e di carico termico.

La torre evaporativa è uno scambiatore aperto a miscela aria-acqua che richiede un continuo reintegro di acqua, in parte per evaporazione e in parte per uno spurgo necessario al mantenimento delle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua circolante. Come reintegro viene utilizzata acqua potabile fornita dall'acquedotto cittadino. Il consumo è mediamente di 2 l/s.

### DAMPING RING + TRANSFER LINES:

Raffredda magneti e cavità del Damping Ring e di una gran parte delle Transfer Lines.

Lo schema impiantistico del Damping Ring è uguale a quello dei MR. La centrale pompe e le torri evaporative sono situate in una zona controllata ad accesso interdetto durante il funzionamento dell'acceleratore. Questo costituisce un problema per la gestione e la manutenzione.

### LINAC +BTF:

Circuito simile ma con secondari a due regimi termici: a  $45^\circ\text{C}$  per i circuiti Waveguides, Accelerating Structures e Auxiliary, a  $32^\circ\text{C}$  per i magneti delle transfer lines e per le batterie di raffreddamento dei modulatori.

### CRIOGENIA:

Utilizza lo stesso schema (primario a torre e secondario) per il raffreddamento del compressore dell'impianto criogenico di KLOE. Si noti che la Valve box e la Cold box sono collegate alla centrale frigorifera, e dotate di un piccolo gruppo di raffreddamento autonomo di riserva.

	Upgrade raffreddamento DAFNE	DT Numero / Number	Data / Date	Pagina / Page
		DT-FLTN-2014-06-13	13 Giugno 2014	6 di 20

#### CENTRALE FRIGORIFERA:

La centrale frigo è al servizio dell'esperimento KLOE (alimentatore, elettronica, CED), del Centro di Calcolo LNF, delle Valve box e Cold box della criogenia di KLOE, delle UTA per il condizionamento (sale controllo DAFNE, FINUDA, LAT, Sala Modulatori ed altre utenze minori dell'area Dafne), e del condizionamento dell'edificio n.2 DA-DT. Utilizza due gruppi frigoriferi acqua-acqua da 400 kW (+ uno di riserva) con il condensatore raffreddato da due torri evaporative.

### 3 IPOTESI DI INTERVENTO

Le torri evaporative sono una soluzione a basso costo di impianto e di esercizio e necessitano di una superficie di installazione minore rispetto a sistemi a circuito chiuso a parità di potenza termica smaltita. Per contro hanno bisogno di un reintegro continuo di acqua e di trattamenti chimici sia on-line che periodici, con una notevole complicazione della gestione degli impianti.

Inoltre, negli ultimi anni ci sono stati problemi di continuità della fornitura di acqua, presumibilmente destinati a peggiorare, come da stima effettuata da Co.Vi.Ri. e presentata dal Prof. Franco Medici della Sapienza in un incontro tenutosi il 05-05-2014 presso il Comune di Frascati. Da questa stima risulta che per il 2015 le risorse disponibili per i Castelli Romani saranno 53.000 Mm<sup>3</sup>/anno, a fronte di un consumo di 54.300 Mm<sup>3</sup>/anno, quindi con un notevole deficit.

Pertanto appare impraticabile l'ulteriore ipotesi di perforare un pozzo per attingere acqua di falda per il consumo degli impianti. Peraltro l'autorizzazione alla perforazione di un pozzo è stata già negata ai LNF alcuni anni fa.

L'idea di svincolare gli impianti di raffreddamento dall'acqua potabile dell'acquedotto ci porta a considerare l'uso di raffreddatori di liquido (Dry Coolers) che funzionano senza apporto d'acqua e macchine frigorifere per la copertura di tutte le ore dell'anno in cui la temperatura supera la soglia massima per l'impiego dei dry coolers. Per tali macchine la differenza tra la temperatura dell'aria esterna e quella dell'acqua raffreddata (approach) è tipicamente di 15°C. Per questo studio si è scelto un approach di 7°C, valore di compromesso tra l'esigenza di massimizzare l'utilizzo dei dry coolers e quella di limitare il sovradimensionamento degli scambiatori.

Questa soluzione è stata utilizzata con successo per gli impianti di raffreddamento di SPARC.

Un discorso a parte va fatto per la centrale frigorifera, dove la temperatura dell'acqua raffreddata dai dry coolers sarebbe adatta per tutto l'anno, con il solo svantaggio di peggiorare il rendimento durante il periodo estivo. Questa parte non è trattata in questo studio perché oggetto di un progetto autonomo di recupero termico comprendente l'installazione dei dry coolers e i lavori di adattamento della centrale. Nel seguito si riportano le considerazioni economiche derivanti da detto studio.

Dal punto di vista impiantistico l'ipotesi di intervento meno invasiva è quella che prevede di mantenere gli attuali scambiatori di calore a piastre e la separazione dei circuiti secondari. Questo permetterebbe anche di non avere problemi di corrosione dovuti ad acqua demi nei circuiti primari né eventuali problemi di sporco dei circuiti secondari derivanti dalla metallurgia e dalla manutenzione dei circuiti primari.

**La soluzione con dry coolers e chillers consente di mantenere le attuali temperature di esercizio nei circuiti utilizzatori in ogni condizione climatica senza introdurre limitazioni di funzionamento in base alla temperatura esterna e di modificare in modo minimo l'impiantistica.**

Per semplificare gli attuali impianti e aumentare la manutenibilità degli stessi, i circuiti di raffreddamento dei Main Rings e del Damping Ring saranno uniti (dismettendo la centrale di raffreddamento DR), derivando le linee per il DR dalle dorsali che portano l'acqua in sala MR.

Quest'intervento da una parte richiede un piccolo lavoro di impiantistica ma dall'altra consente un notevole risparmio di installazione e un determinante miglioramento operativo legato al fatto di eliminare un intero impianto in zona controllata e dunque difficilmente accessibile per manutenzione.

Nel progetto sono stati considerati aspetti quali:

- il mantenimento o il miglioramento dell'attuale livello di affidabilità;
- la modularità di funzionamento;
- una adeguata ridondanza;
- minimo impatto sul funzionamento;
- minimo consumo energetico (eventuale recupero termico).

## 4 POTENZE IMPEGNATE

Le potenze termiche da smaltire, nella condizione attuale di funzionamento di Dafne, sono riassunte nella seguente tabella:

	IMPIANTO	POTENZA	PORTATA ACQUA PRIMARI	CONSUMO (medio)
		MW	l/s	l/s
<b>1</b>	<b>MR + DR</b>			<b>1</b>
	<b>MR</b>	<b>2.2</b>	<b>144</b>	
	<b>DR</b>	<b>0.65</b>	<b>18</b>	
	<b>TOTALE</b>	<b>2.85</b>	<b>162</b>	
<b>2</b>	<b>LINAC + BTF</b>	<b>0.3</b>	<b>24</b>	<b>0.4</b>
<b>3</b>	<b>CRIO</b>	<b>0.3</b>	<b>10</b>	<b>0.2</b>
<b>4</b>	<b>Centrale Frigo</b>	<b>0.8</b>	<b>30</b>	<b>0.4</b>

Tabella 1: Potenze impegnate

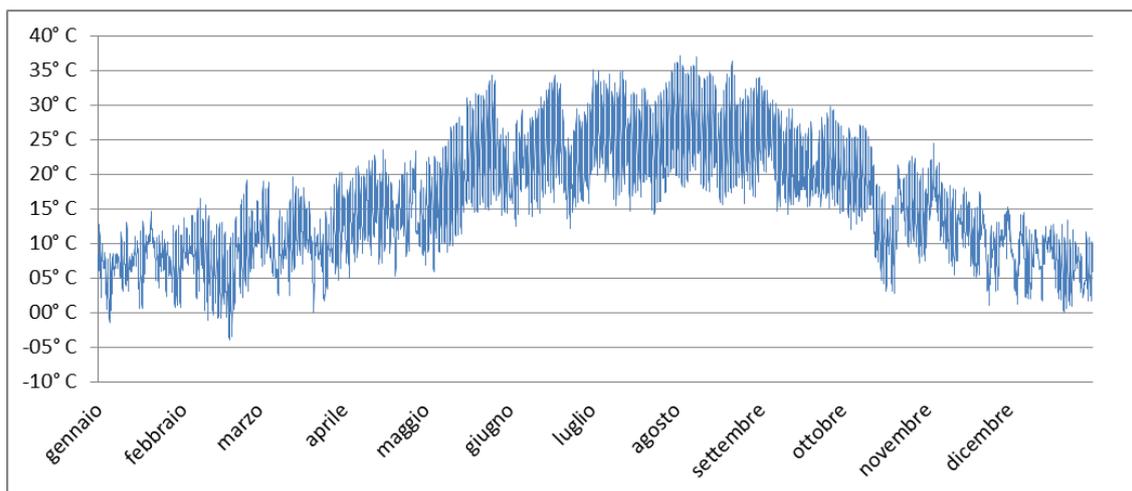
## 5 DATI CLIMATICI

Per la stima dei consumi elettrici delle nuove installazioni è necessario riferirli alla resa delle apparecchiature alle diverse temperature dell'aria esterna. Si è scelto di utilizzare dati orari.

Abbiamo analizzato l'anno climatico meteorologico caratteristico costruito secondo la norma UNI EN ISO 15927-4 dal Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente.

Questo è stato costruito con i dati raccolti ora per ora dalla stazione meteorologica di Ponte di Nona (RM) dall'anno 2005 all'anno 2010. Ponte di Nona è a circa 10 km di distanza dai laboratori e ad una quota di circa 100m inferiore, pertanto la situazione climatica è abbastanza simile. La massima temperatura risulta 37.2°C.

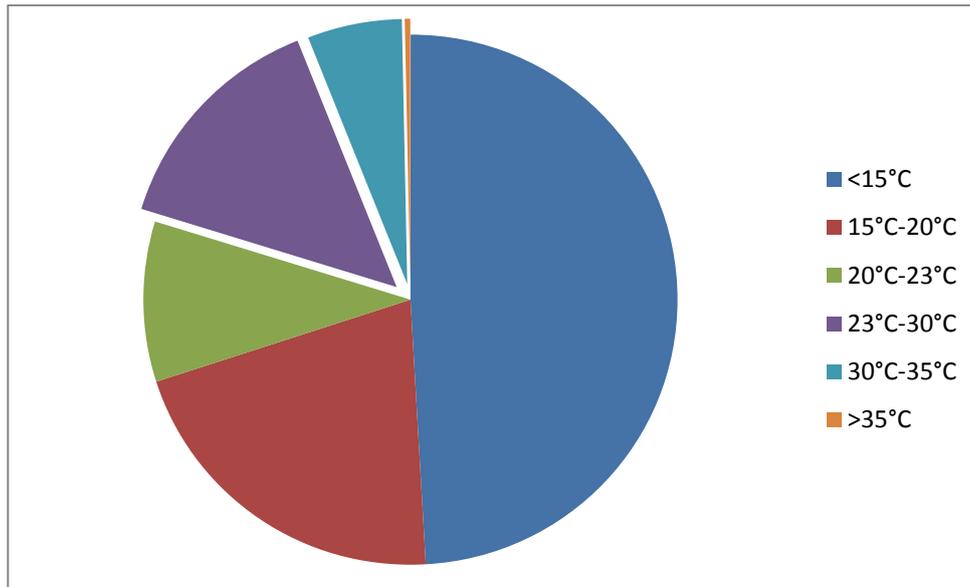
L'andamento delle temperature nel corso dell'anno è visibile in figura 1, mentre in tabella è riportata la ripartizione delle ore dell'anno per intervalli di temperatura.



**Figura 1: Andamento della temperatura dell'anno caratteristico**

	N° ore (anno)	% (anno)
<b>&lt;15°C</b>	<b>4299</b>	49,1%
<b>15°C-20°C</b>	<b>1833</b>	20,9%
<b>20°C-23°C</b>	<b>855</b>	9,8%
<b>23°C-30°C</b>	<b>1243</b>	14,2%
<b>30°C-35°C</b>	<b>501</b>	5,7%
<b>&gt;35°C</b>	<b>29</b>	0,3%
<b>tot ore anno</b>	<b>8760</b>	<b>100%</b>

**Tabella 2: Distribuzione di evenienza delle temperature**



**Figura 2: Distribuzione di evenienza delle temperature**

Analizzando le temperature orarie nel corso dell'anno ci si accorge che l'84% delle ore sono caratterizzate da temperature inferiori o uguali a 23°C. La temperatura di 23°C è stata assunta come prima ipotesi di limite di funzionamento per i dry coolers, in modo da avere un dimensionamento ragionevole delle macchine e una copertura annuale abbastanza estesa.

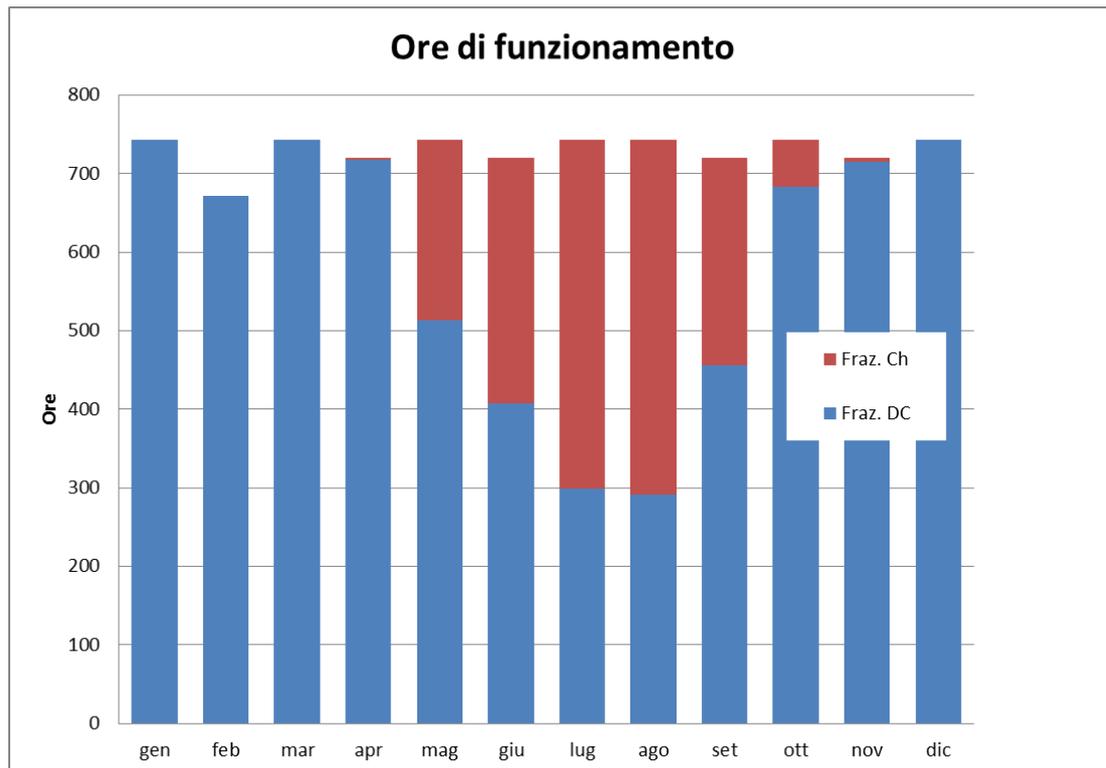
Il parametro che caratterizza il funzionamento dei dry coolers e quindi il loro dimensionamento è la differenza tra temperatura dell'acqua di mandata e temperatura dell'aria. La potenza resa scende al diminuire di tale differenza a parità di temperatura acqua.

Per coprire una maggior parte dell'anno (e quindi con un limite di temperatura più alto) si dovrebbero far funzionare i dry coolers con un minor approach. Di conseguenza aumenterebbe la taglia delle macchine scelta, con un impatto notevole su spazi e costi.

Per il periodo restante è necessario ricorrere a macchine frigorifere raffreddate ad aria. La scelta si è indirizzata verso macchine dimensionate per un funzionamento ad una temperatura acqua relativamente alta, 30°C.

Si noti che, eccetto nel periodo invernale, si è ipotizzato un funzionamento alternato di dry coolers e chillers durante la giornata, in funzione dell'andamento orario della temperatura. In inverno funzionano solo i dry coolers, mentre in nessun periodo dell'anno funzionano solo i chillers. La distribuzione mensile delle ore di funzionamento nelle due modalità è riportata nel grafico a barre.

E' stato scartato l'uso di macchine frigorifere commerciali dotate di free cooling perché non disponibili ai regimi termici e alle potenze richieste e con limiti di funzionamento svantaggiosi.



**Figura 3: Ripartizione ore di funzionamento (Chillers/Dry Coolers)**

## 6 LOGISTICA E SPAZI DISPONIBILI

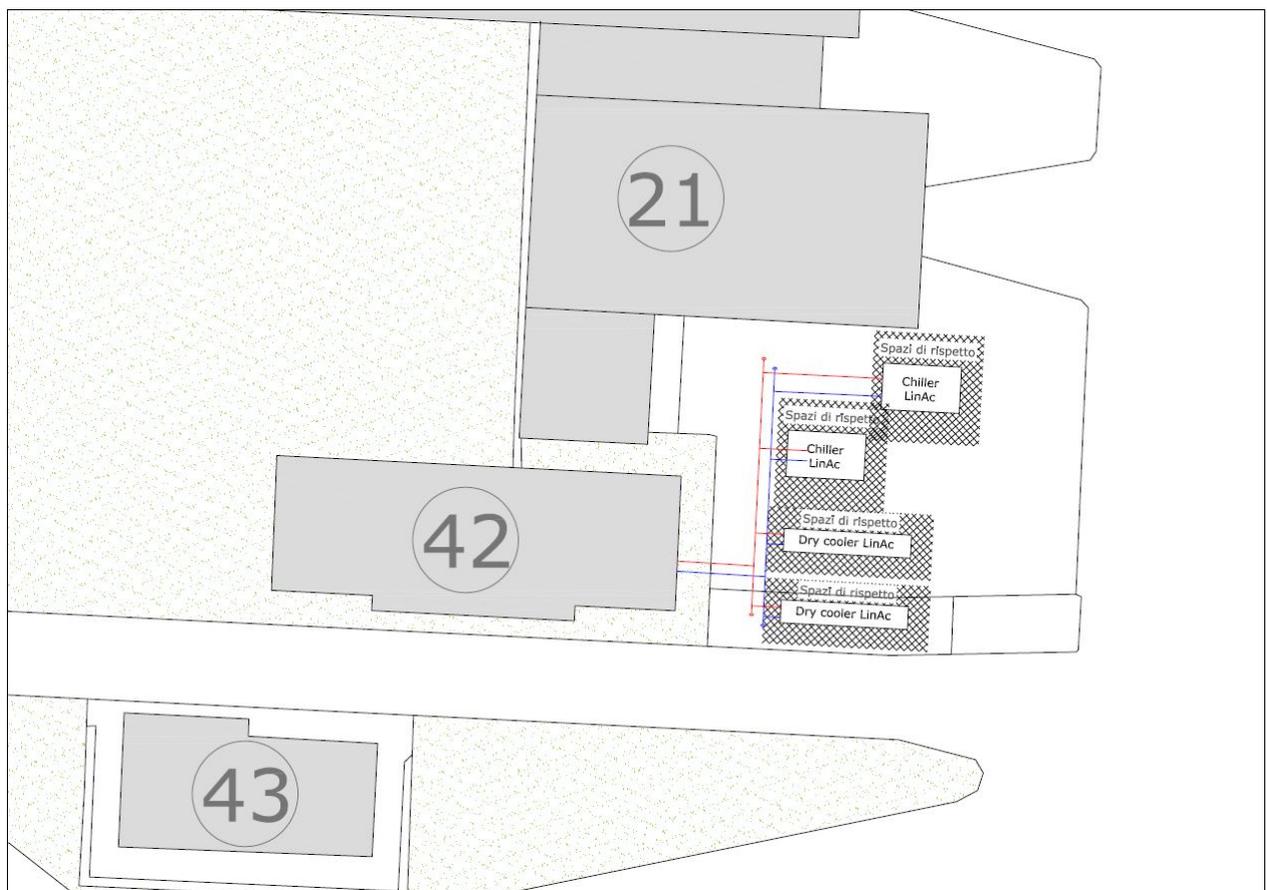
Sono state prese in considerazione le aree disponibili nei pressi degli impianti di raffreddamento, ipotizzando di smantellare tutte le torri esistenti e di utilizzare l'area attualmente occupata dai nuovi prefabbricati uffici (costi di trasferimento inclusi).

Inoltre è stata presa in considerazione l'ipotesi di installare i dry coolers sulla copertura della Sala Pompe Dafne (edificio 40). Questo comporta un lavoro di adattamento e rinforzamento della struttura, evidenziato nella stima dei costi.

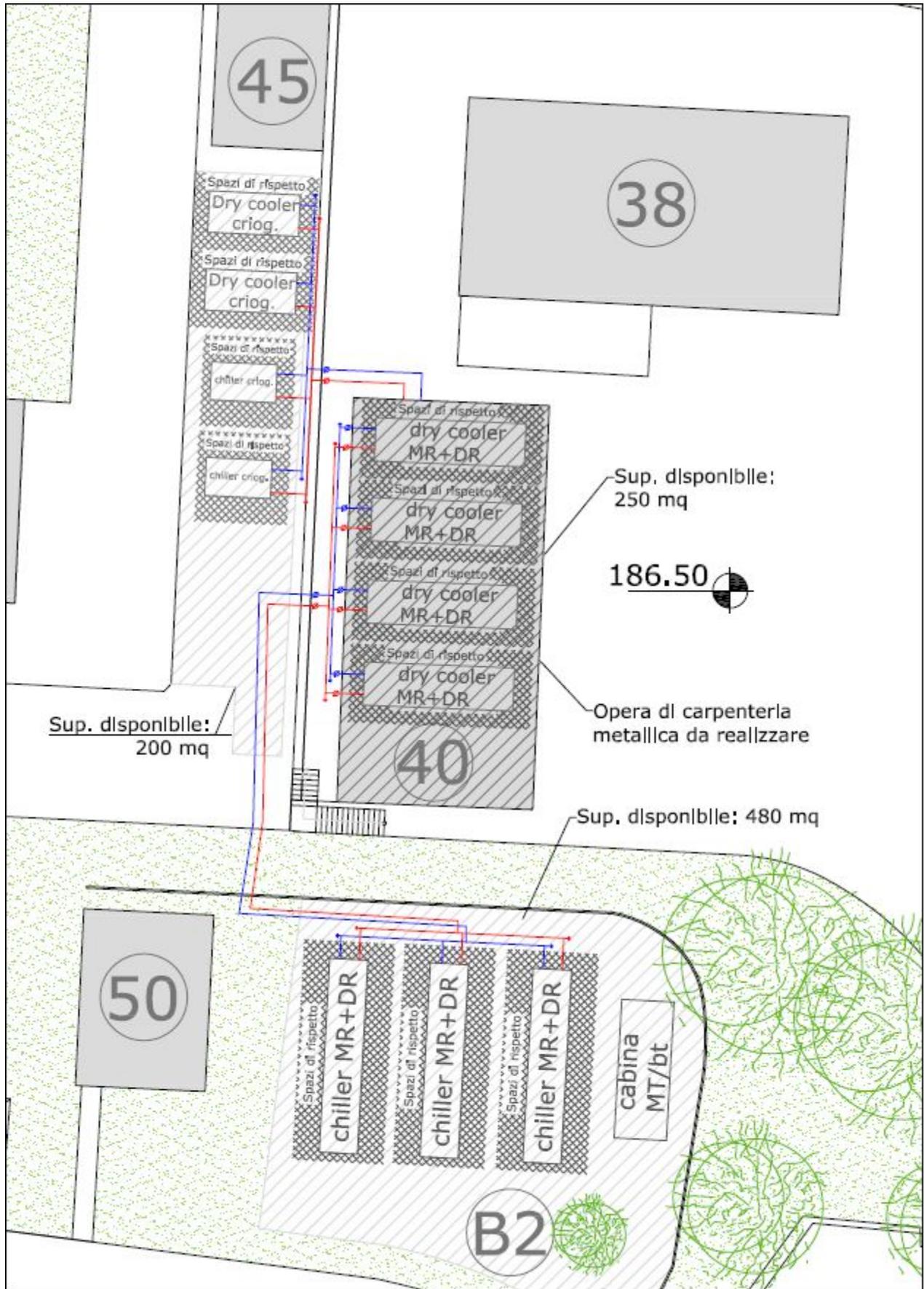
Nelle figure una ipotesi di sistemazione che tiene in conto gli spazi di rispetto per il funzionamento e la manutenzione ed un possibile tracciato per le tubazioni.

Chillers	#	di cui riserva	Dimensioni macchine (m)		Dimensioni + spazi rispetto (m)		Peso (kg)	Impronta (m2)	TOTALE (m2)
Circuito MR+DR	3	1	2.20	11.10	5.20	14.10	12458	73.32	219.46
Circuito Linac + BTF	2	1	2.20	3.78	5.20	6.78	3468	35.26	70.51
Circuito Criogenia	2	1	2.20	3.78	5.20	6.78	3468	35.26	70.51
DRY COOLERS									
Circuito MR + DR	3	1	2.45	8.55	4.45	10.55	3100	46.93	140.78
Circuito Linac + BTF	2	1	1.10	6.03	3.10	8.03	1341	24.89	49.79
Circuito Criogenia	2	1	2.39	5.21	4.39	7.21	954	31.66	63.32

**Tabella 3: Dimensioni delle macchine**

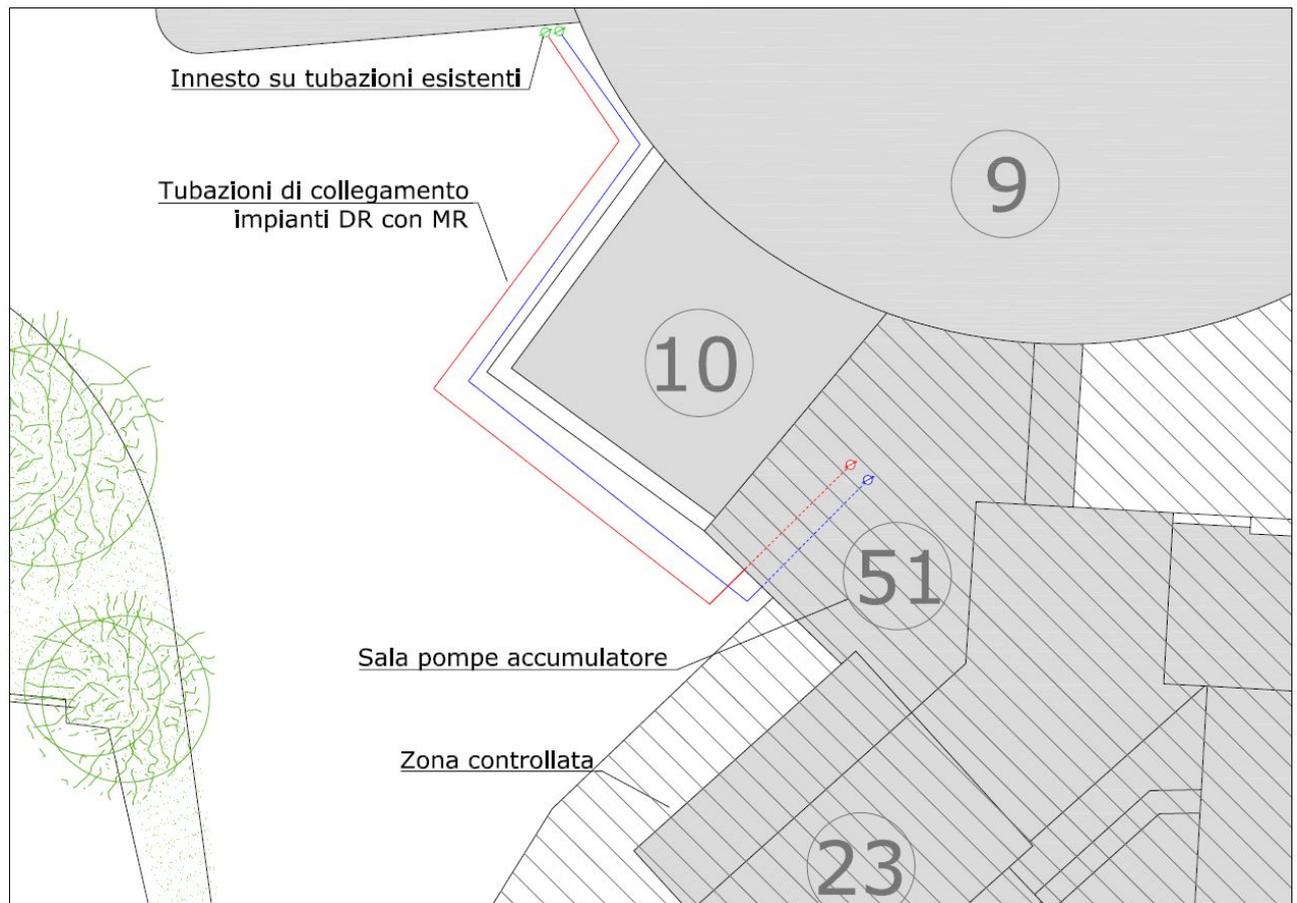


**Figura 4: Sistemazione area centrale LINAC**



**Figura 5: Sistemazione area centrale MR+DR e Centrale Criogenia**

	Upgrade raffreddamento DAFNE	DT Numero / Number	Data / Date	Pagina / Page
		DT-FLTN-2014-06-13	13 Giugno 2014	13 di 20



**Figura 6: Collegamento del DR con i MR**

## **7 COSTI D'IMPIANTO**

Sono stati consultati direttamente alcuni produttori delle macchine. Sono state preferite macchine standard, non customizzate, per evitare eventuali problematiche di gestione.

E' stato fatto un dimensionamento di massima dell'impiantistica, considerando un layout semplificato e margini adeguati al livello preliminare dello studio.

I costi dell'impiantistica sono stati desunti da prezziari aggiornati, e sono da intendersi IVA esclusa.

<b>COSTO (€)</b>	<b>MR+DR</b>	<b>LINAC+BTF</b>	<b>Criogenia</b>	<b>TOTALE</b>
SMANTELLAMENTI E SMALTIMENTI	48'628.00	4'836.00	3'548.00	57'012.00
NOLI	8'000.00	5'000.00	5'000.00	18'000.00
EDILIZIA	264'000.00	30'000.00	28'000.00	322'000.00
DRY COOLER	153'140.00	25'548.00	17'642.00	196'330.00
CHILLER	655'200.00	107'400.00	107'400.00	870'000.00
TUBAZIONI	168'864.90	45'766.77	44'084.70	258'716.37
VALVOLE E PEZZI SPECIALI	33'772.98	9'153.35	8'816.94	51'743.27
AGGIORNAMENTO SISTEMA DI CONTROLLO				50'000.00
IMPIANTI ELETTRICI	460'000.00 <sup>(1)</sup>	25'000.00	7'000.00	492'000.00
COSTI TECNICI <sup>(2)</sup>	268'740.88	37'905.62	33'223.75	339'870.25
<b>TOTALE</b>	<b>2'060'346.76</b>	<b>290'609.74</b>	<b>254'715.39</b>	<b>2'655'671.89</b>
<b>Centrale Frigo Dafne (CFD)</b>				98'426.50
<b>TOTALE GENERALE</b>				<b>2'754'098.00</b>
<b>TOTALE CON IVA (22%)</b>				<b>3'360'000.00</b>

**Tabella 4: Costi di impianto**

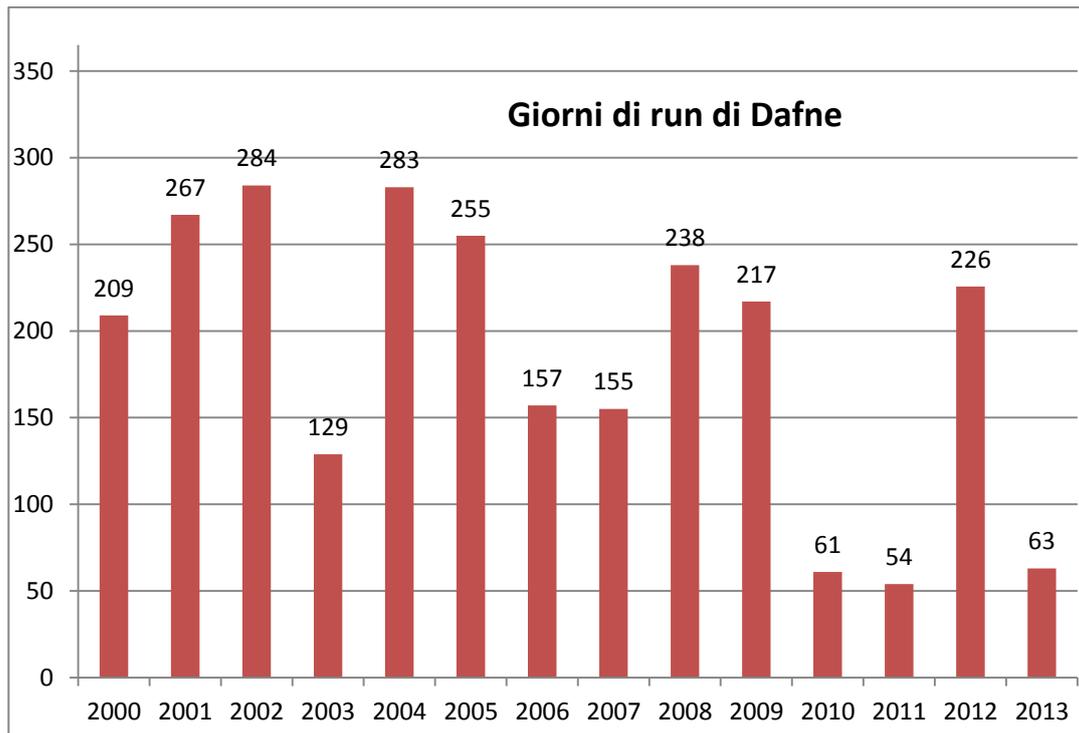
(1) Incluso i costi di realizzazione di una nuova cabina elettrica

(2) sicurezza, progettazione e direzione lavori

## 8 COSTI DI ESERCIZIO

La stima dei costi di esercizio è stata fatta considerando un funzionamento continuo del complesso di acceleratori per tutto l'anno.

I dati degli ultimi 10 anni mostrano tuttavia un up-time intorno a 200 giorni/anno, come riportato nel diagramma a barre. I risultati dello studio potrebbero quindi essere scalati di conseguenza per ottenere una proiezione più realistica.



**Figura 7: Storico dei giorni di run di Dafne**

Per ottenere il consumo energetico sono state moltiplicate le potenze elettriche assorbite dalle macchine alle diverse condizioni termiche esterne per la durata oraria dei relativi periodi. Nelle tabelle seguenti sono poi presentati i risultati aggregati per mese e per anno, totali e suddivisi per i tre impianti (MR+DR, LINAC+BTF, Criogenia).

La variazione del costo di esercizio per la sola Centrale Frigo si può considerare trascurabile. Benché i consumi elettrici dei dry coolers rispetto a quelli delle torri siano di poco superiori e l'efficienza dei gruppi frigo sia leggermente inferiore per la condensazione a più alta temperatura nel periodo estivo, comunque tali effetti si considerano compensati dal previsto recupero di energia termica per il riscaldamento invernale degli edifici.

Inoltre è stata evidenziata la frazione assorbita dai dry coolers e dalle macchine frigorifere. Si noti che nei mesi invernali i soli dry coolers coprono l'intero fabbisogno.

Il consumo energetico è stato poi convertito in unità economiche, considerando un costo dell'energia elettrica di 0.182 €/kWh (costo medio 2013).

Non sono stati considerati i costi di manutenzione perché marginali. Per quanto riguarda il costo attuale di gestione del trattamento dell'acqua di torre, che sarebbe nullo nella soluzione studiata, attualmente incide per circa 35'000,00 euro IVA compresa.

Il costo del consumo dell'acqua è conteggiato a forfait, sulla base di un impegno contrattuale di 7.77 litri/s per tutte le utenze dei LNF compresi gli usi civili, che corrisponde ad un costo annuale di 180'000,00 euro IVA inclusa.

	Upgrade raffreddamento DAFNE	DT Numero / Number	Data / Date	Pagina / Page
		DT-FLTN-2014-06-13	13 Giugno 2014	16 di 20

A seguito dell'annullamento dei consumi per gli impianti di raffreddamento tale costo potrebbe ridursi del 30%.

	consumo energetico MR+DR (kWh)			consumo energetico LinAc+BTF (kWh)			consumo energetico Criog. (kWh)			consumo energetico totale (kWh)		
	tot. per mese	Fraz DC	Fraz Ch	tot. per mese	Fraz DC	Fraz Ch	tot. per mese	Fraz DC	Fraz Ch	tot. per mese	Fraz DC	Fraz Ch
gennaio	23'453	23'453	0	3'427	3'427	0	2'779	2'779	0	29'658	29'658	0
febbraio	22'320	22'320	0	3'230	3'230	0	2'688	2'688	0	28'238	28'238	0
marzo	27'660	27'660	0	4'044	4'044	0	3'197	3'197	0	34'902	34'902	0
aprile	35'477	34'155	1'322	4'857	4'726	130	4'166	4'035	130	44'499	42'917	1'583
maggio	200'557	28'800	171'757	20'816	3'874	16'942	20'372	3'430	16'942	241'745	36'104	205'641
giugno	258'196	25'253	232'944	26'312	3'335	22'977	25'985	3'009	22'977	310'493	31'596	278'898
luglio	366'475	21'255	345'220	36'791	2'743	34'049	36'570	2'521	34'049	439'836	26'519	413'317
agosto	376'443	20'843	355'600	37'762	2'691	35'070	37'531	2'460	35'070	451'735	25'994	425'741
settembre	223'525	29'663	193'863	23'026	3'903	19'122	22'666	3'544	19'122	269'217	37'110	232'108
ottobre	75'940	33'210	42'730	8'777	4'561	4'216	8'125	3'909	4'216	92'842	41'680	51'162
novembre	32'689	29'385	3'304	4'440	4'114	326	3'789	3'463	326	40'918	36'962	3'956
dicembre	24'008	24'008	0	3'480	3'480	0	2'801	2'801	0	30'289	30'289	0
<b>Tot. Anno</b>	<b>1'666'742</b>	<b>320'003</b>	<b>1'346'739</b>	<b>176'961</b>	<b>44'128</b>	<b>132'833</b>	<b>170'669</b>	<b>37'836</b>	<b>132'833</b>	<b>2'014'372</b>	<b>401'967</b>	<b>1'612'404</b>

**Tabella 5: Consumi energetici delle macchine**

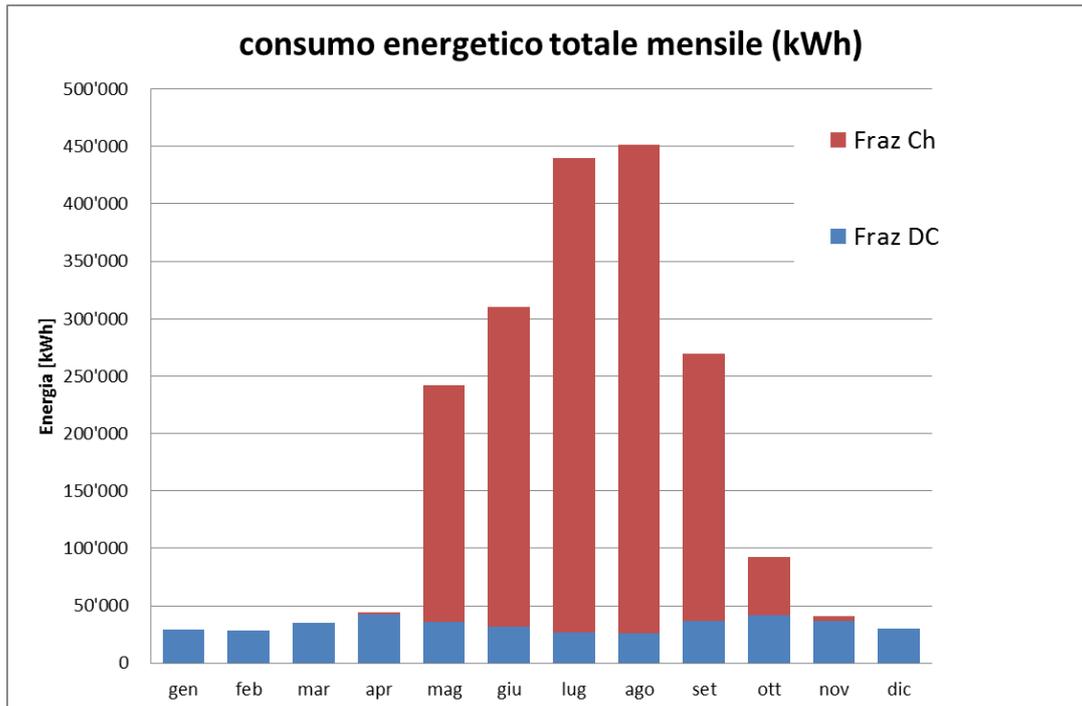
	costo d'esercizio MR+DR (€)			costo d'esercizio LinAc+BTF (€)			costo d'esercizio Criog. (€)			costo d'esercizio totale impianti (€)		
	tot. per mese	Fraz DC	Fraz Ch	tot. per mese	Fraz DC	Fraz Ch	tot. per mese	Fraz DC	Fraz Ch	tot. per mese	Fraz DC	Fraz Ch
gennaio	4'268.36	4'268.36	-	623.62	623.62	-	505.84	505.84	-	5'397.82	5'397.82	-
febbraio	4'062.24	4'062.24	-	587.92	587.92	-	489.16	489.16	-	5'139.32	5'139.32	-
marzo	5'034.12	5'034.12	-	736.07	736.07	-	581.91	581.91	-	6'352.10	6'352.10	-
aprile	6'456.74	6'216.21	240.53	883.94	860.19	23.74	758.14	734.40	23.74	8'098.82	7'810.80	288.02
maggio	36'501.41	5'241.60	31'259.81	3'788.45	705.04	3'083.41	3'707.70	624.29	3'083.41	43'997.56	6'570.93	37'426.63
giugno	46'991.72	4'595.96	42'395.77	4'788.73	606.94	4'181.79	4'729.34	547.55	4'181.79	56'509.79	5'750.44	50'759.35
luglio	66'698.45	3'868.41	62'830.04	6'696.03	499.17	6'196.87	6'655.66	458.79	6'196.87	80'050.14	4'826.37	75'223.77
agosto	68'512.55	3'793.34	64'719.21	6'872.62	489.82	6'382.79	6'830.57	447.78	6'382.79	82'215.74	4'730.94	77'484.80
settembre	40'681.59	5'398.58	35'283.01	4'190.67	710.38	3'480.29	4'125.27	644.98	3'480.29	48'997.52	6'753.93	42'243.59
ottobre	13'821.02	6'044.22	7'776.80	1'597.46	830.16	767.30	1'478.67	711.38	767.30	16'897.15	7'585.76	9'311.39
novembre	5'949.40	5'348.07	601.33	808.11	748.75	59.36	689.66	630.30	59.36	7'447.16	6'727.11	720.05
dicembre	4'369.37	4'369.37	-	633.30	633.30	-	509.84	509.84	-	5'512.51	5'512.51	-
<b>Tot. Anno</b>	<b>303'346.95</b>	<b>58'240.46</b>	<b>245'106.50</b>	<b>32'206.91</b>	<b>8'031.36</b>	<b>24'175.55</b>	<b>31'061.77</b>	<b>6'886.21</b>	<b>24'175.55</b>	<b>366'615.63</b>	<b>73'158.02</b>	<b>293'457.60</b>

**Tabella 6: Costi di esercizio delle macchine (consumi elettrici)**

Consumi elettrici e costi vanno confrontati con quelli relativi alle sole torri di raffreddamento, in quanto tutto il resto degli impianti sarebbe sostanzialmente immutato, salvo piccoli aggiustamenti. Il confronto è riportato nella tabella seguente.

	costo esercizio annuale	
	nuova installazione	impianto esistente (torri)
consumo elettrico	366000,00 €	63000,00 €
trattamento dell'acqua di torre		35'000,00 €
consumo acqua		54'000,00 €
<b>totale</b>	<b>366000,00 €</b>	<b>152'000,00 €</b>
<b>INCREMENTO COSTO</b>	<b>214'000,00 €</b>	

**Tabella 7: Confronto costi di esercizio**



**Figura 8: Ripartizione mensile dei costi elettrici delle macchine**

## 9 TEMPI DI INTERVENTO

Gli interventi relativi ai quattro impianti possono essere eseguiti o meno in parallelo.

In ogni caso, c'è una parte dell'esecuzione che comporta il fermo degli acceleratori. Può essere studiata una soluzione per minimizzare il fermo effettivo del complesso Dafne, sequenziando opportunamente le operazioni.

Nei tempi di progetto sono comprese anche le fasi di assegnazione dell'incarico e di validazione. I tempi di gara sono intesi dalla richiesta di indizione fino all'aggiudicazione del contratto.

La fase di esecuzione è stata distinta in "senza interferenza" e con "fermo macchina". La fase di esecuzione senza interferenza comprende i tempi di consegna delle macchine.

Si noti che tutti gli interventi devono essere inseriti nel piano triennale dei Lavori Pubblici dell'INFN, con i relativi tempi non compresi nelle presenti stime.

	Upgrade raffreddamento DAFNE	DT Numero / Number	Data / Date	Pagina / Page
		DT-FLTN-2014-06-13	13 Giugno 2014	18 di 20

	PROGETTO	GARA	ESECUZIONE SENZA INTERFERENZE	ESECUZIONE CON FERMO MACCHINE	COMMISSIONING	TOTALE
Centr. FRIGO	6	15	4	1	1	27
CRIO	6	15	5	2	1	29
MR+DR	6	15	7	2	1	31
LINAC + BTF	6	15	5	2	1	29

**Tabella 8: Tempi di intervento**

## 10 SVILUPPI

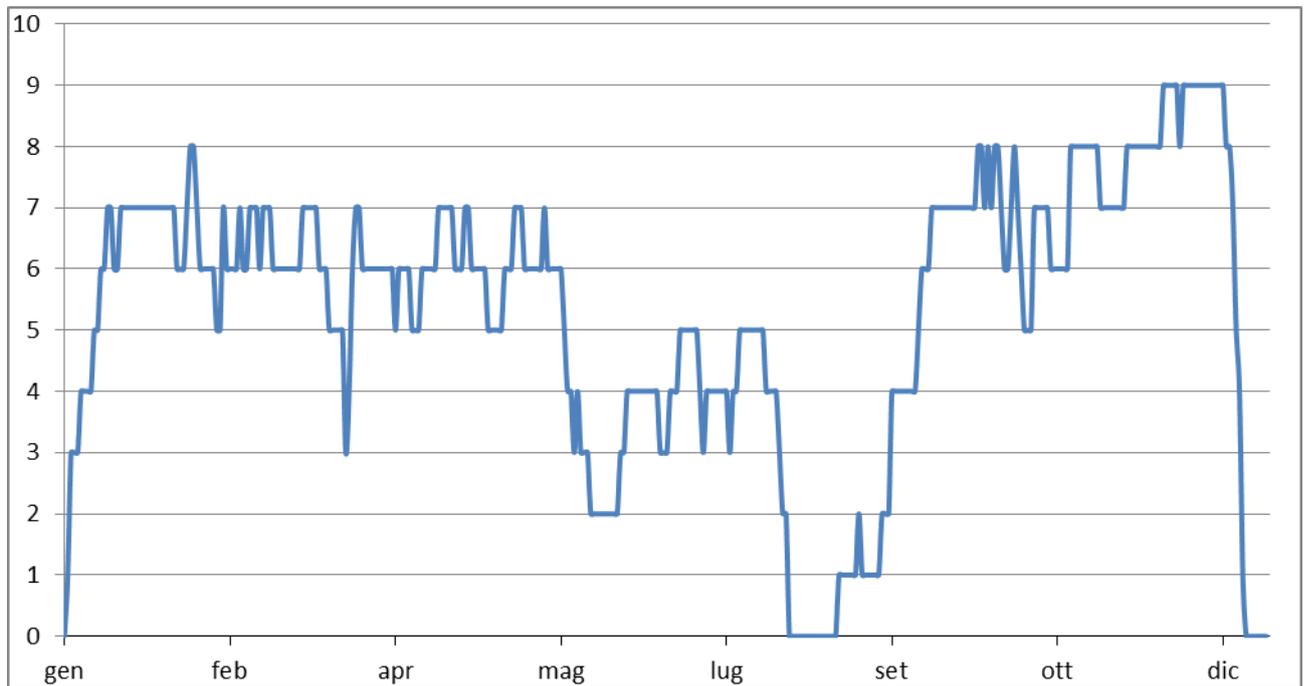
Ulteriori interventi sull'impiantistica e sulle condizioni di funzionamento potrebbero portare notevoli economie di impianto e di gestione, a fronte di uno studio più approfondito. A questo proposito si possono sviluppare punti rilevanti come:

- Eliminazione degli scambiatori, senza la divisione in circuiti primario e secondario, con raffreddamento diretto nei chillers e nei dry-coolers dell'acqua demineralizzata (come già sperimentato in SPARC). In questo modo è possibile aumentare il limite della temperatura di funzionamento dei dry coolers. Raffreddamento diretto degli acceleratori, eliminando gli scambiatori.
- Le modalità di scambio tra i regimi di funzionamento "dry-coolers" e "chillers", considerando l'inerzia termica dei sistemi e la sovrapposizione di funzionamento.
- La sostituzione del compressore della criogenia con uno compatibile con una temperatura di raffreddamento più alta in modo da utilizzare solo dry coolers, risparmiando il costo e l'ingombro dei chillers.
- Lay-outs di impianto alternativi, con particolare riferimento all'installazione delle macchine sopra la sala Pompe.
- Costi effettivi delle macchine, prendendo in considerazione altri produttori e modelli.
- Incidenza della programmazione dei periodi di fermo macchina preferenzialmente in periodo estivo sui costi di esercizio e di impianto.
- Scenari alternativi con parziale mantenimento delle torri evaporative in appoggio ai dry coolers.
- Regimi termici diversi, ad es.: divisione circuiti a 45° (Waveguides, Accelerating Structures e Auxiliary) da quelli a 32° (positron converter, magneti) nell'impianto del LINAC, cambiamento della temperatura del raffreddamento dei magneti.
- Utilizzo di accumulo frigorifero per limitare i picchi di consumo e quindi ridurre la taglia ed il costo della installazione.
- L'impatto economico di un diverso limite dell'utilizzo dei dry coolers.
- Il livello di ridondanza delle macchine installate, in funzione della affidabilità delle catene funzionali e di una analisi dei guasti.

## 11 ALCUNE CONSIDERAZIONI

**In figura 9 è riportato il risultato dell'analisi dei dati dei consumi di energia elettrica, da cui si evince la condizione di funzionamento di Dafne, giorno per giorno, negli ultimi dieci anni. Il grafico è stato costruito sommando le evenienze della condizione di run per ciascun giorno dell'anno di ognuno dei dieci anni.**

**Si osserva che mai Dafne ha lavorato nelle settimane centrali del mese di agosto e solo alcune volte nei mesi estivi più caldi.**



**Figura 9 Numero di volte, per ciascun giorno, in cui Dafne è stata accesa , negli ultimi 10 anni**

Si sottolinea come l'installazione delle macchine frigorifere per coprire il carico nel periodo più caldo incida sensibilmente sul preventivo sia per il loro stesso costo, che per quello degli impianti elettrici necessari (che richiedono circa 1 MW comportando la realizzazione di una nuova cabina, i cui costi sono stati compresi nelle stime), come pure sul costo di operazione.

Per il confronto del costo di esercizio tra la situazione attuale e la modifica studiata, a titolo di esempio, in figura 10 si riporta il grafico della potenza elettrica necessaria per il raffreddamento di MR+DR con la soluzione proposta (CH+DC) rispetto a quella attuale (Torri). Per avere un confronto corretto, si considera come "potenza per raffreddamento" quella necessaria per l'azionamento dei dry-coolers e chillers in un caso, e quella strettamente dovuta al sistema di ventilazione delle torri nel secondo, entrambe dipendenti dalla temperatura ambiente.

La potenza relativa alle pompe di circolazione lato secondari e ad una pompa di torre, che per i MR vale 188 kW, si considera in prima approssimazione uguale nei due casi e non compresa nel grafico.

	Upgrade raffreddamento DAFNE	DT Numero / Number	Data / Date	Pagina / Page
		DT-FLTN-2014-06-13	13 Giugno 2014	20 di 20

Nella configurazione attuale, può funzionare una sola torre con 4 livelli di ventilazione, o, in condizioni estreme, anche due torri. In questa situazione parte una seconda pompa di torre, il cui valore di potenza assorbita è caricato sulla quota raffreddamento, per renderlo omogeneo con il caso in studio.

I valori di potenza dell'attuale funzionamento derivano da alcune misure e dall'esperienza di esercizio dell'impianto.

Se ne ricava che, in ogni caso, le torri risultano energeticamente più convenienti, e lo sono soprattutto oltre il limite di funzionamento dei dry coolers (assunto pari a 23°C nello studio) oltre il quale operano i chillers.

La considerazione si può estendere all'insieme degli interventi sugli impianti di raffreddamento, comprendenti anche LINAC+BTF e Criogenia.

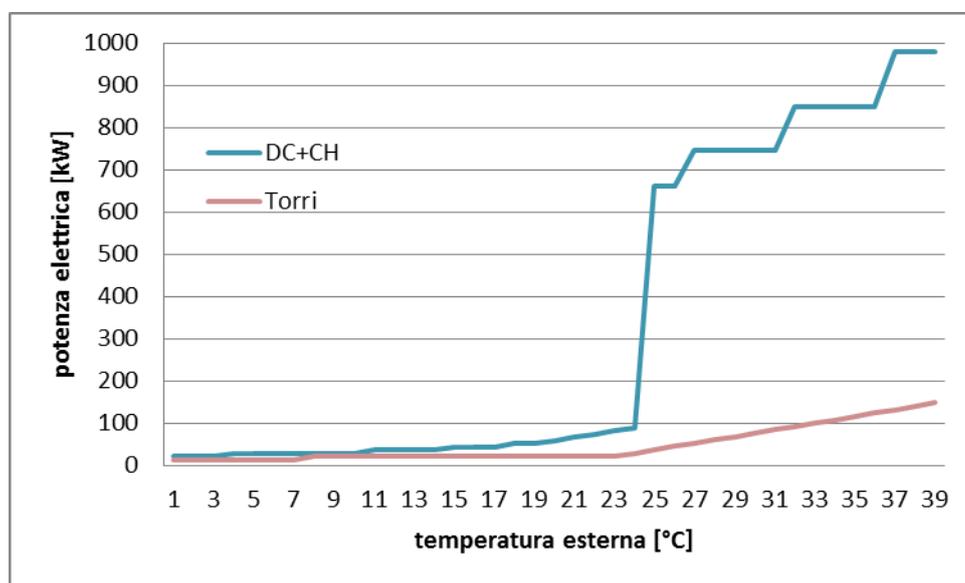


Figura 10: Potenza elettrica per MR+DR in funzione della temperatura esterna

## 12 CONCLUSIONI

Questo studio evidenzia la fattibilità di principio dell'intervento senza limitazioni sul tempo di operazione dell'acceleratore e senza alcun cambiamento dei parametri di funzionamento degli impianti di raffreddamento.

Tuttavia il costo di impianto risulta elevato e i costi di esercizio aumentano considerevolmente. Di seguito è riassunto il confronto dei costi.

Costo di installazione: 3'360'000,00 €IVA (22%) inclusa

Incremento del costo di esercizio annuo: 214'000,00 €IVA (22%) inclusa

Si sottolinea che si ritiene possibile approfondire ulteriormente lo studio, tenendo conto dei punti descritti al paragrafo 10 "Sviluppi", per ridurre i costi di investimento e di esercizio.