

Frascati, November 27, 1999

Note: **ME-8**

DAΦNE
ALLINEAMENTO DEI MAGNETI CURVANTI, DEGLI SPLITTER
E DEI COMPENSATORI: METODICA USATA E STATO ATTUALE

F. Sgamma, M. Paris, M. Troiani

Il progetto per l'allineamento dei magneti curvanti, degli *splitter* e dei compensatori ha comportato la realizzazione di una rete locale di punti fissi, indipendenti dagli elementi magnetici dei due anelli, come è illustrato dalla Fig. 1.

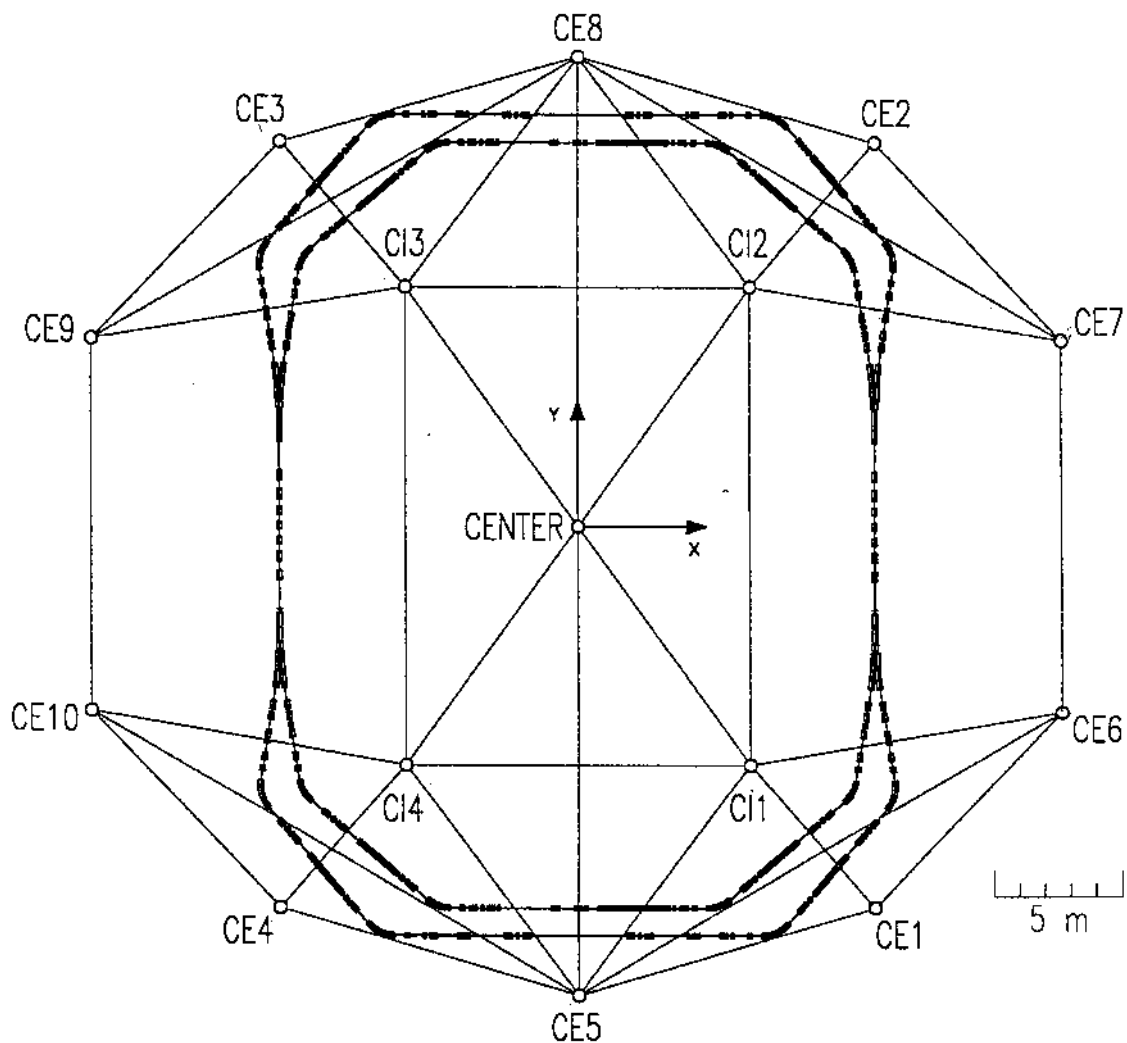


Figura 1

La rete, costituita da 15 nodi, è stata progettata per averne due adiacenti ad ognuna delle quattro zone ad arco della macchina (CI1 - CE1, CI2 - CE2, CI3 - CE3, CI4 - CE4); di questi otto nodi degli archi quelli esterni sono allineati sia sugli assi delle zone di interazione che sui tratti dritti corti dei due anelli. Gli altri sette nodi, oltre a permettere un collegamento tra i primi otto, costituiscono un sistema di riferimento per l'allineamento degli apparati sperimentali. Il progetto della rete è stato realizzato utilizzando il programma di analisi STAR*NET. Per il corretto posizionamento dei nodi nel piano le misure da eseguire sono distanze tra nodi, scelte tra quelle possibili dati gli ingombri dei componenti della macchina e degli apparati sperimentali. La geometria della rete, definita dalle distanze che si è deciso di misurare, è frutto di una ottimizzazione che ha puntato a ridurre il numero delle misure garantendo una precisione nella conoscenza della posizione dei nodi inferiore a 0.1 mm. Questa precisione è rappresentata in Fig. 2 dalle ellissi che delimitano le aree nelle quali il nodo ha la probabilità del 99% di trovarsi.

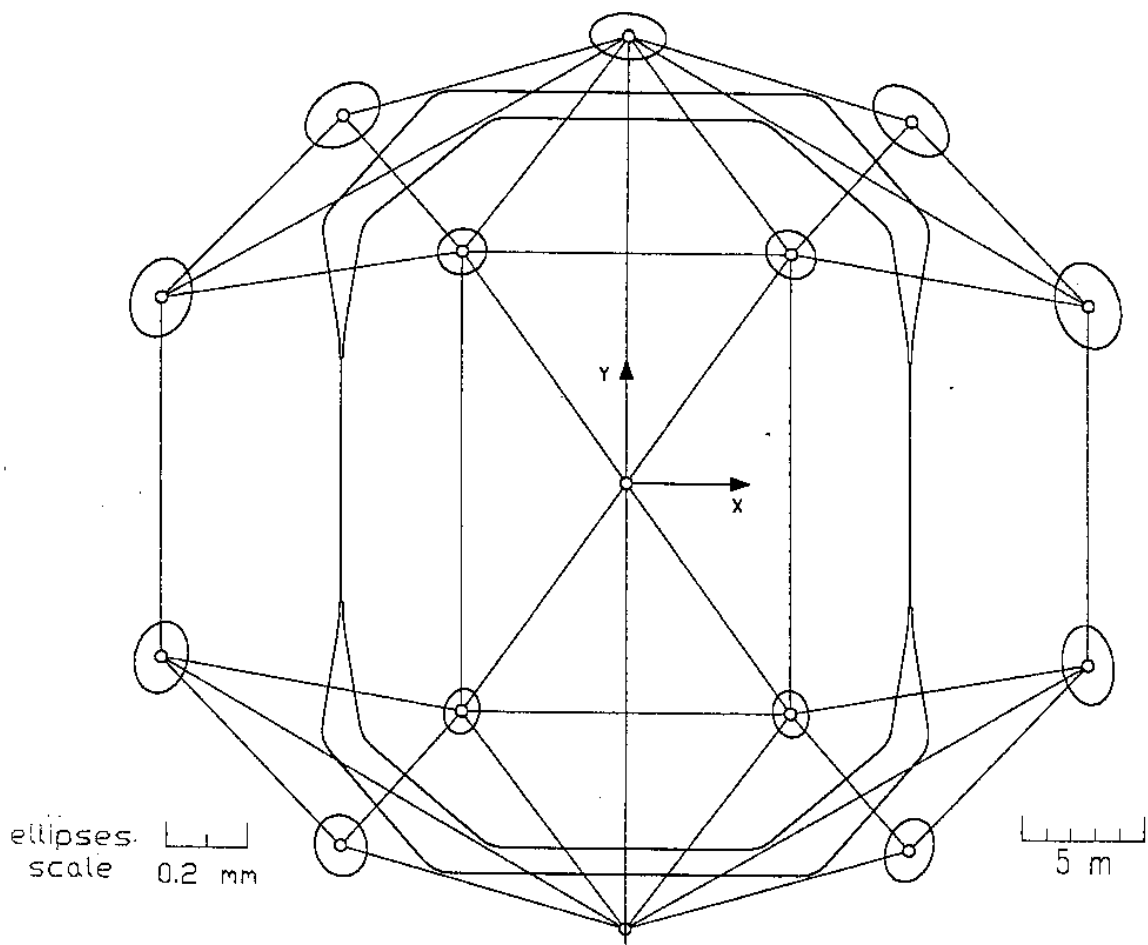


Figura 2

Per aumentare la ridondanza delle misure rispetto ai gradi di libertà che i 15 nodi hanno, si sono aggiunti al sistema di misure tutti gli angoli che la rete permette di misurare, compatibilmente con gli ingombri descritti prima.

I nodi della rete sono realizzati con colonne rigide che hanno sulla loro sommità delle piastre con alesaggi $\Phi = 30$ mm, tali da permettere il posizionamento del teodolite e dello strumento per la misura di distanze con fili di invar; coassiali con gli alesaggi sono realizzate sedi coniche adatte ad ospitare le sfere Taylor-Hobson con $\Phi = 88,9$ mm (3.5 in). L'altezza delle colonne è tale che le sedi coniche sono alla stessa quota di quelle realizzate sulle piastre solidali ai magneti curvanti.

La Fig. 3 mostra il disegno costruttivo delle piastre delle colonne con le tolleranze imposte in modo da ottenere la ripetibilità di posizionamento necessaria per un buon allineamento; tali tolleranze sono le stesse utilizzate per le piastre dei magneti curvanti.

La Fig. 4 mostra inoltre il disegno costruttivo delle colonne con il dettaglio del sistema di regolazione tra piastra e colonna; va inoltre detto che delle 15 colonne realizzate, 14 sono fisse ed una è rimovibile (CE9) per permettere l'inserimento sulla macchina dell'apparato sperimentale FINUDA; questa ultima colonna (vedi Fig. 5) è costruita in modo tale che, rimontandola dopo il passaggio dell'esperimento, la piastra sulla sommità torni nella posizione precedente con una imprecisione inferiore a 0.1 mm.

Le distanze sono state misurate utilizzando il Distinvar, strumento progettato e messo a punto al CERN; la metodologia di misura consiste nel realizzare fili di invar di lunghezze circa pari a quelle delle distanze da misurare e quindi di misurare ciascun filo su un banco di precisione: questo permette l'uso del filo per lunghezze in un intervallo compreso tra - 0 mm e + 50 mm intorno alla sua lunghezza, con una precisione di ± 0.05 mm.

Per le misure delle 11 distanze tra le colonne, previste dalla rete, si sono realizzati 11 gruppi di fili, ciascuno costituito da tre fili circa uguali tra loro, e la Tab. 1 mostra i valori delle loro lunghezze, misurate al CERN il 25 ottobre 1995 e l' 11 marzo 1998; le due tarature sono state eseguite rispettivamente prima e dopo l'uso dei fili in DAΦNE. Il numero di fili è stato triplicato per avere sempre un filo di scorta ed uno campione e quindi poter verificare quotidianamente il buono stato di quello in uso.

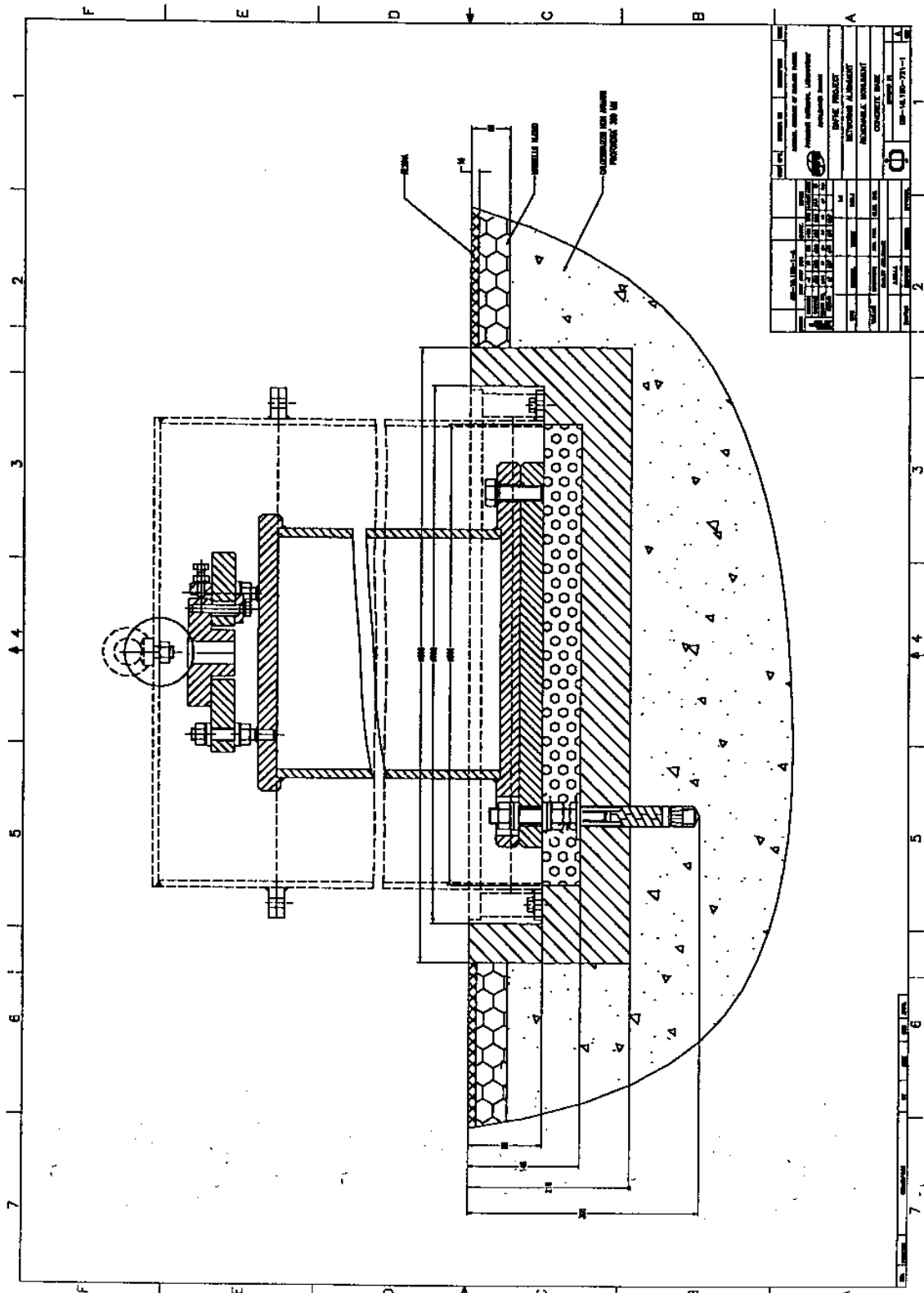


Figura 5

Tabella 1 - Lunghezze dei fili di invar

filo	25 ottobre 1995	11 marzo 1998
1	11651,55	11651,53
12	11652,64	11652,65
23	11651,34	11651,38
2	13473,62	13473,64
13	13475,45	13475,46
24	13475,55	13475,59
3	19032,07	19032,04
14	19033,42	19033,55
25	19031,46	19031,60
4	18525,20	18525,19
15	18524,97	18525,06
26	18528,20	18528,28
5	14849,01	14849,03
16	14848,48	14848,53
27	14848,72	14848,80
6	12352,17	12352,09
17	12353,34	12353,34
28	12352,90	12352,94
7	11244,25	11244,28
18	11243,00	11243,86
29	11243,70	11243,76
8	12116,57	12116,60
19	12115,69	12115,76
30	12113,48	12113,57
9	10595,34	10595,35
20	10600,82	10600,89
31	10600,51	10600,56
10	21945,73	21945,67
21	21944,57	21944,67
32	21945,44	21945,59
11	7450,30	7450,25
22	7448,16	7448,16
33	7446,65	7446,65

La Tab. 2 contiene i valori in millimetri delle coordinate nel piano delle posizioni teoriche dei 15 nodi e gli *offsets* da queste dei nodi reali, rilevati nell'ultima campagna di misure effettuata il 5 luglio 1996.

La Tab. 3 contiene i valori delle quote in millimetri, rispetto a quella del fascio, del centro delle sfere T.H. poggiate sulle sedi coniche dei 15 nodi. Le misure sono state effettuate sia prima dell'uso dei nodi per l'allineamento della macchina che successivamente; le quote sono misurate relativamente a quella del CENTRO, che è presa a riferimento e supposta stabile.

Tabella 2 - Posizioni nominali delle colonne e differenze tra posizioni reali e nominali

nodo	X	Y	ΔX	ΔY
CENTRO	0,00	0,00	0,00	0,00
CI1	6750,00	-9528,00	0,02	0,06
CI2	6750,00	9528,00	-0,04	0,09
CI3	-6750,00	9528,00	-0,01	-0,11
CI4	-6750,00	-9528,00	-0,03	-0,13
CE1	11658,28	-15161,53	-0,03	-0,09
CE2	11658,28	15161,53	-0,04	-0,06
CE3	-11658,28	15161,53	0,05	0,01
CE4	-11658,28	-15161,53	-0,01	0,02
CE5	0,00	-18550,00	0,00	-0,19
CE6	18950,00	-7437,00	0,02	0,11
CE7	18950,00	7437,00	-0,01	0,12
CE8	0,00	18550,00	0,01	-0,09
CE9	-18950,00	7437,00	-0,10	-0,16
CE10	-18950,00	-7437,00	-0,07	-0,09

Tabella 3 - Altezze sul fascio degli alesaggi delle colonne (T.H.).

nodo	apr.-mag. 1997	1 apr. 1998	febb. 1999	11 mar. 1999
CENTRO	717,47	717,47	717,47	717,47
CI1	715,35	715,45	715,40	715,42
CI2	715,45	715,52	715,62	715,54
CI3	715,65	715,75	715,92	715,94
CI4	715,10	715,15	715,22	715,27
CE1	715,29	715,23	715,31	715,22
CE2	715,56	715,51	715,63	715,73
CE3	715,76	715,77	716,03	716,16
CE4	715,24	715,07		715,74
CE5	715,20	715,18		
CE6	715,48	715,46		715,54
CE7	715,64	715,70	715,89	715,91
CE8	715,58	715,56	715,86	715,86
CE9	715,22	715,20		
CE10	715,27	715,08		715,79

Nella serie di misure effettuate il 1° aprile 1998 solo i nodi CE4 e CE10 mostrano un abbassamento maggiore di 0.1mm e quindi superiore ad errori di misura sia del primo set di valori che del secondo. I due nodi coinvolti dal fenomeno sono adiacenti e localizzati su una zona marginale della sala, che probabilmente ha subito un cedimento; questo cedimento non ha coinvolto gli elementi della macchina.

Nella serie di misure effettuate nel febbraio - marzo 1999, dopo l'ingresso del magnete di FINUDA, i nodi CE4 e CE10 sono saliti e sono saliti anche quelli adiacenti alla zona del passaggio del magnete; queste variazioni hanno coinvolto gli elementi della macchina soprattutto nella zona del passaggio che si diceva prima (vedi Tab. 4 e 5).

Tabella 4 - Altezze sul fascio degli alesaggi dei magneti curvanti e⁻ (T.H.)

magnete		quota				distanza 1-3
nome	s.n.	nodo	nominale	02/02/99	11/03/99	
DHREL101	PEL 4	1 - E1	715,08		715,09	960,06
		2	715,13		715,16	
		3 - E2	715,14		715,15	
		4	715,07		715,20	
DHSEL102	SLL 1	1 - E3	715,26		715,17	960,10
		2	715,30		715,30	
		3 - E4	715,26		715,30	
		4	715,31		715,15	
DHSES101	SLS 3	1 - E7	715,06	714,92	715,00	759,87
		2	715,14	715,02	715,14	
		3 - E8	715,09	715,02	715,10	
		4	715,02	715,01	715,08	
DHRES102	PES 4	1 - E9	715,36	715,46	715,57	760,01
		2	715,32	715,38	715,53	
		3 - E10	715,33	715,46	715,56	
		4	715,24	715,55	715,57	
DHRES201	PES 1	1 - E11	715,23		715,61	non misurata
		2	715,19		715,56	
		3 - E12	715,20		715,61	
		4	715,21		715,91	
DHSES202	SLS 2	1 - E13	715,14		715,43	760,45
		2	715,28		715,45	
		3 - E14	715,14		715,32	
		4	715,14		715,45	
DHSEL201	SLL 3	1 - E17	715,15		715,99	959,99
		2	715,22		716,11	
		3 - E18	715,13		716,04	
		4	714,99		715,91	
DHREL202	PEL 1	1 - E19	715,17		715,74	959,83
		2	715,20		715,79	
		3 - E20	715,16		715,83	
		4	715,20		715,97	

Tabella 5 - Altezze sul fascio degli alesaggi dei magneti curvanti e⁺ (T.H.).

magnete		quota				distanza 1-3
nome	s.n.	nodo	nominale	02/02/99	11/03/99	
DHRPL101	PEL 3	1 - P2	715,09	715,16	715,36	959,96
		2	715,08	715,17	715,27	
		3 - P1	715,10	715,18	715,31	
		4	715,20	715,20	715,37	
DHSPL102	SLL 2	1 - P4	715,27	715,23	715,40	959,91
		2	715,47	715,53	715,67	
		3 - P3	715,44	715,51	715,63	
		4	715,23	715,20	715,30	
DHSPS101	SLS 1	1 - P8	715,22		715,29	non misurata
		2	715,38		715,50	
		3 - P7	715,38		715,51	
		4	715,21		715,42	
DHRPS102	PES 2	1 - P10	715,37		715,32	759,86
		2	715,41		715,52	
		2 - P9	715,34		715,59	
		4	715,15		715,42	
DHRPS201	PES 3	1 - P12	715,23		715,81	760,02
		2	715,28		715,82	
		3 - P11	715,23		715,90	
		4	715,10		715,83	
DHSPS202	SLS 4	1 - P14	715,24		716,06	760,19
		2	715,34		716,19	
		3 - P13	715,24		716,09	
		4	715,28		716,07	
DHSPL201	SLL 4	1 - P18	715,12		715,33	959,94
		2	715,18		715,36	
		3 - P17	715,20		715,40	
		4	714,19		715,47	
DHRPL202	PEL 2	1 - P20	715,21		715,56	959,81
		2	715,21		715,56	
		3 - P19	715,20		715,60	
		4	715,23		715,46	

L'allineamento in pianta dei magneti curvanti è stato realizzato utilizzando per ciascuno le due piastre 1 e 3 (vedi Fig. 6) e per il livellamento le piastre 1, 3 e 4. L'azione di allineamento è stata preceduta dalla misura della distanza tra 1 e 3; inoltre si è misurata la distanza dei centri delle sfere T.H., poggiate sulle piastre stesse, dal piano di mezzeria del magnete (vedi Tab. 4 e 5).

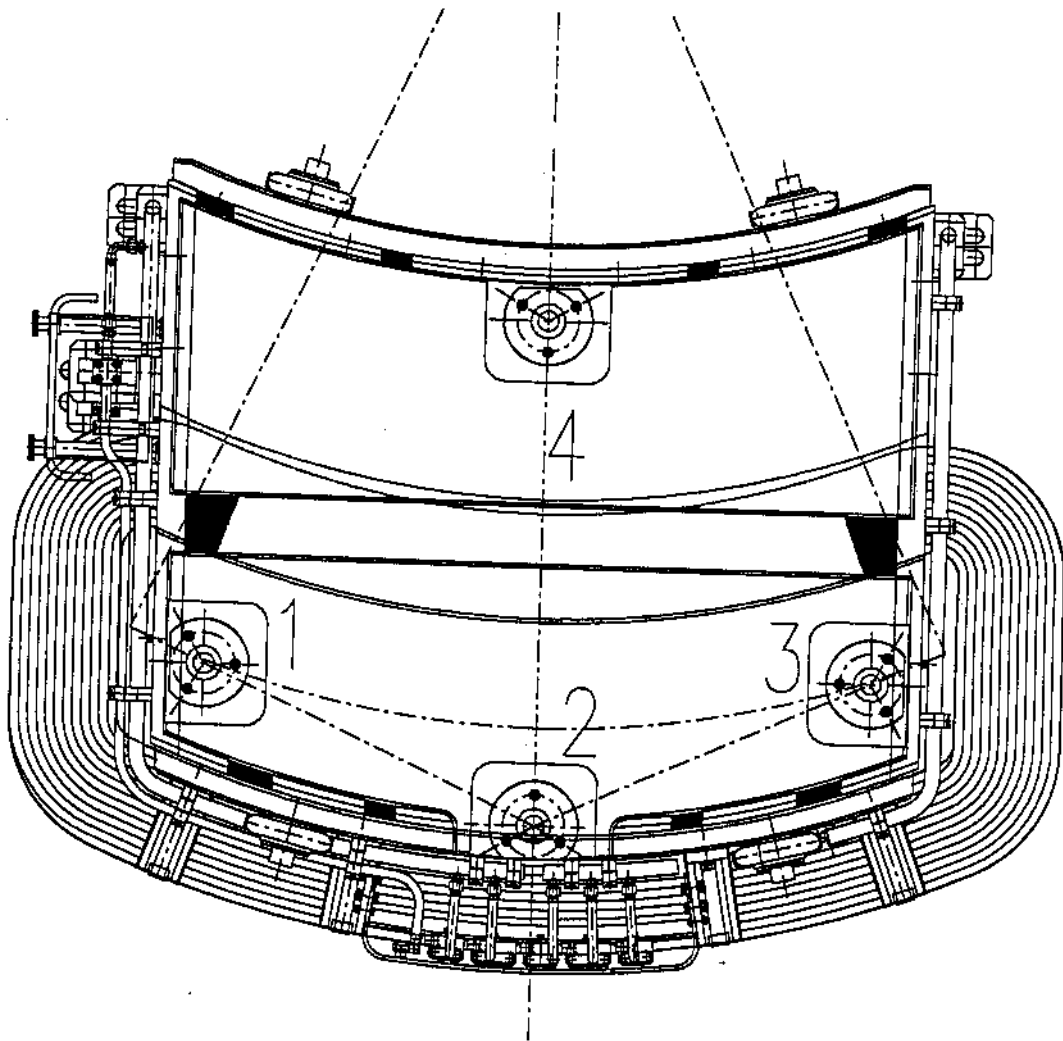


Figura 6

La Fig. 7 mostra la rete utilizzata per la misura della posizione dei magneti; tale rete è tale che i due nodi 1 e 3 di ogni magnete sono collegati con entrambe le colonne adiacenti all'arco di appartenenza e con quelli dell'altro magnete dello stesso arco.

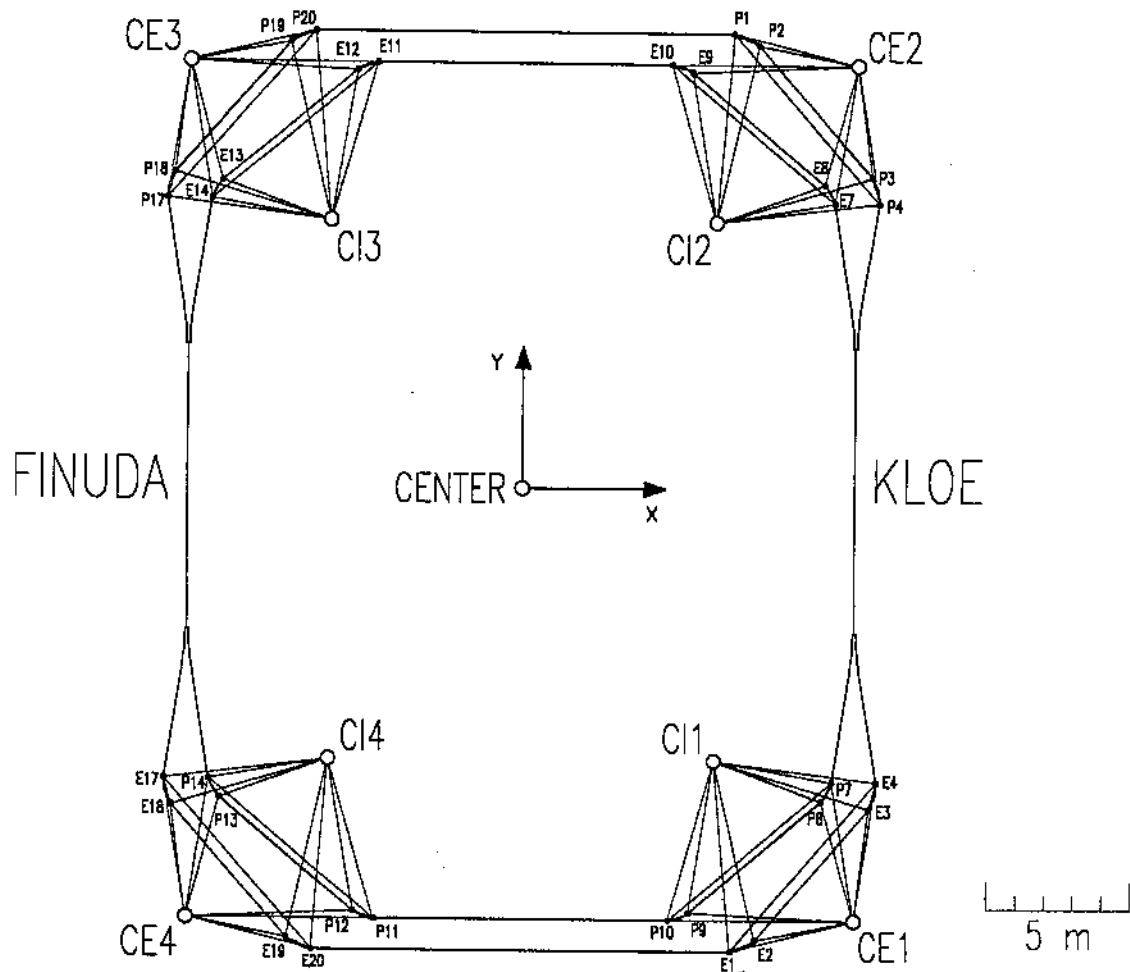


Figura 7

La Fig. 8 illustra la nomenclatura generale dei nodi degli elementi magnetici curvanti (dipoli e *splitter*) e le Tab. 6 e 7 contengono i valori in millimetri delle coordinate nel piano delle posizioni teoriche dei nodi appartenenti ai magneti curvanti e gli *offsets* da queste dei nodi reali rilevati nell'ultima serie di misure effettuata il 4 e 5 settembre 1997.

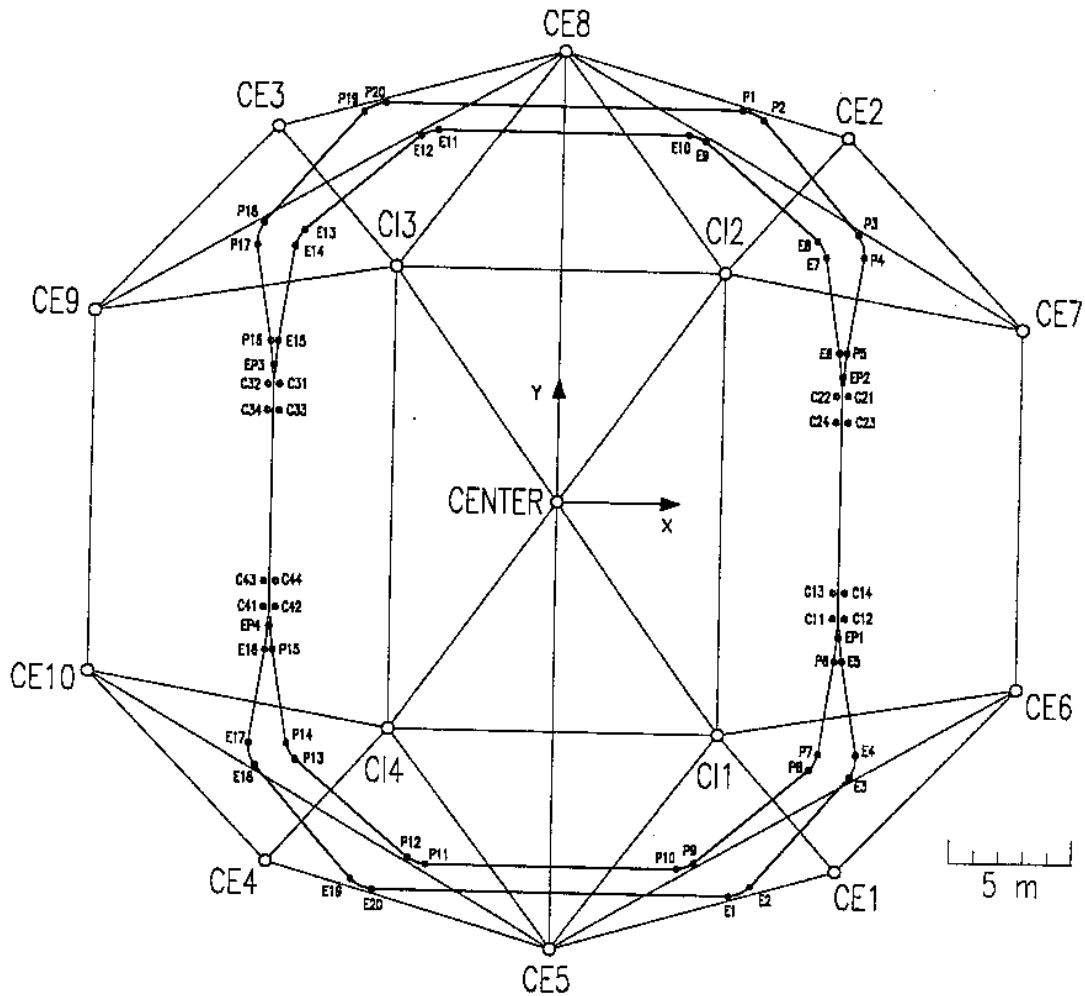


Figura 8

Tabella 6 - Posizioni nominali degli alesaggi sui magneti curvanti e⁻ e differenze tra posizioni reali e nominali

nodo	X	Y	ΔX	ΔY
E1	7314,70	-16254,38	-0,03	-0,05
E2	8186,52	-15852,46	-0,20	0,02
E3	12170,39	-11187,95	-0,20	-0,19
E4	12430,97	-10264,00	-0,27	-0,07
E7	10886,44	10258,61	0,12	-0,07
E8	10515,09	10921,70	0,27	-0,10
E9	5858,88	14898,48	0,29	0,14
E10	5145,85	15161,53	0,30	0,26
E11	-5145,85	15161,53	0,05	-0,12
E12	-5858,88	14898,48	-0,04	-0,02
E13	-10515,09	10921,70	-0,09	0,29
E14	-10886,44	10258,61	0,01	-0,28
E17	-12430,97	-10264,00	0,07	0,18
E18	-12170,39	-11187,95	0,10	0,09
E19	-8186,52	-15852,46	-0,14	-0,05
E20	-7314,70	-16254,38	-0,23	-0,06

Tabella 7 - Posizioni nominali degli alesaggi sui magneti curvanti e⁺ e differenze tra posizioni reali e nominali

nodo	X	Y	settembre 1997		luglio 1998	
			ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
P1	7314,70	16254,38	0,19	-0,13	-0,01	-0,09
P2	8186,52	15852,46	0,07	-0,13	0,08	-0,01
P3	12170,39	11187,95	0,19	-0,06		
P4	12430,97	10264,00	0,31	-0,06		
P7	10886,44	-10258,61	0,13	0,21		
P8	10515,09	-10921,70	-0,12	-0,16		
P9	5858,88	14898,48	0,02	0,15		
P10	5145,85	-15161,53	0,20	-0,08		
P11	-5145,85	-15161,53	-0,09	-0,11		
P12	-5858,88	-14898,48	-0,21	0,02		
P13	-10515,09	-10921,70	-0,05	-0,24		
P14	-10886,44	-10258,61	0,04	0,12		
P17	-12430,97	10264,00	-0,09	-0,13		
P18	-12170,39	11187,95	-0,14	-0,07		
P19	-8186,52	15852,46	-0,02	-0,21		
P20	-7314,70	16254,38	-0,05	-0,31		

Nel giugno 1998 il magnete curvante DHRPL101 è stato smontato per riparare un corto su una delle tre focacce della bobina inferiore. La Tab. 7 contiene gli *offsets* dei nodi coinvolti dopo il rimontaggio, effettuato il 22 luglio 1998, ed il conseguente riallineamento.

Per quanto riguarda i quattro magneti *splitter* la Tab. 8 riporta le coordinate teoriche dei nodi relativi e gli *offset* misurati e la Tab. 9 riporta invece le distanze tra le piastre di ogni singolo magnete e le quote rispetto al piano di simmetria orizzontale. Analogamente, per i quattro magneti compensatori la Tab. 10 riporta le coordinate teoriche dei nodi relativi e gli *offset* misurati e la Tab. 11 riporta le distanze tra le piastre di ogni singolo magnete e le quote rispetto al piano di simmetria orizzontale.

Le lunghezze dei fili necessari alle misure per l'allineamento dei dipoli, degli *splitter* e dei compensatori sono elencate nella Tab. 12: le misure di calibrazione sono state effettuate al CERN, come quelle dei fili usati per il *network* delle colonne.

Tabella 8 - Posizioni nominali degli alesaggi sui magneti *splitter* e differenze tra posizioni reali e nominali

splitter	nodo	X	Y	ΔX	ΔY
SPLI1002	E6	11503,06	6365,41	-0,27	0,17
	P5	11813,50	6365,41	-0,29	0,36
	EP2	11658,28	5385,41	0,47	0,21
SPLI 1001	E5	11813,50	-6365,41	-0,18	-0,12
	P6	11503,06	-6365,41	-0,15	-0,10
	EP1	11658,28	-5385,41	0,05	0,21
SPLI2001	E15	-11503,06	6365,41	0,16	-0,02
	P16	-11813,50	6365,41	0,15	0,22
	EP3	-11658,28	5385,41	-0,09	0,22
SPLI2002	E16	-11813,50	-6365,41	0,16	0,35
	P15	-11503,06	-6365,41	0,24	0,25
	EP4	-11658,28	-10258,61	-0,39	0,14

Tabella 9 - Altezze sul fascio degli alesaggi dei magneti *splitter* (T.H.)

splitter	piastra	quota		distanze	
		nominale	03/02/99		
SPLI1002	E6	257,62	257,02	EP2-E6	992,29
	P5	257,62	257,06	EP2-E5	992,26
	EP2	257,62	257,11	E6-P5	310,40
SPLI 1001	E5	257,29		EP1-E5	991,92
	P6	257,29		EP1-P6	991,98
	EP1	257,29		E5-P6	310,42
SPLI2001	E15	257,35		EP3-E15	992,02
	P16	257,35		EP3-P16	992,18
	EP3	257,35		E15-P16	310,44
SPLI2002	E16	257,41		EP4-E16	991,93
	P15	257,41		EP4-P15	992,20
	EP4	257,41		E16-P15	310,51

Tabella 10 - Posizioni nominali degli alesaggi sui magneti compensatori e differenze tra posizioni reali e nominali

compensatore	nodo	X	Y	ΔX	ΔY
SOLI1001	C11	11417,86	-4590,61	-0,30	0,33
	C12	11898,84	-4590,08	-0,22	0,29
	C13	11421,20	-3529,99	-0,20	0,18
	C14	11902,97	-3529,20	-0,14	0,34
SOLI1002	C21	11899,36	4590,96	0,06	-0,20
	C22	11417,07	4590,00	0,07	-0,27
	C23	11897,66	3529,45	0,10	-0,26
	C24	11414,36	3529,00	0,05	-0,15
SOLI2001	C31	-11417,49	4590,02	-0,36	0,89
	C32	-11898,78	4589,60	-0,44	-0,06
	C33	-11419,92	3529,75	1,49	0,84
	C34	-11901,53	3529,51	1,48	-0,03
SOLI2002	C41	-11899,21	-4591,17	-0,26	0,24
	C42	-11417,60	-4590,06	-0,37	0,17
	C43	-11896,53	-3529,94	0,17	0,27
	C44	-11414,39	3528,76	0,14	0,11

Tabella 11 - Altezze nominali degli alesaggi dei magneti compensatori e distanze tra loro

compensatore	quota			distanze	
	piastra	nominale	3/2/99		
SOLI1001	C11	537,00		C11 - C12	480,97
	C12	537,00		C12 - C14	1060,89
	C13	538,76		C14 - C13	481,77
	C14	535,27		C13 - C11	1060,63
SOLI1002	C21	532,21	531,56	C12 - C13	1162,72
	C22	532,21	531,52	C11 - C14	1167,02
	C23	533,21	532,13	C21 - C22	482,29
	C24	531,21	530,20	C22 - C24	1061,00
SOLI2001	C31	537,17		C24 - C23	483,30
	C32	537,17		C23 - C21	1061,51
	C33	538,02		C22 - C23	1164,36
	C34	535,92		C21 - C24	1167,47
SOLI2002	C41	536,77		C31 - C32	481,30
	C42	536,77		C32 - C34	1060,09
	C43	538,37		C34 - C33	481,61
	C44	535,06		C33 - C31	1060,57
SOLI2002	C41	536,77		C32 - C33	1163,29
	C42	536,77		C31 - C34	1165,74
	C43	538,37		C41 - C42	481,61
	C44	535,06		C42 - C44	1061,30
SOLI2002	C41	536,77		C44 - C43	482,14
	C42	536,77		C43 - C41	1061,24
	C43	538,37		C42 - C43	1163,28
	C44	535,06		C41 - C44	1167,80