

# INTERNAL REPORT

## Deformazioni dello specchio principale di SRT

Franco Buffa

[fbuffa@oa-cagliari.inaf.it](mailto:fbuffa@oa-cagliari.inaf.it)

Report N. 28, Released: 19 giugno 2013

Reviewer: Sergio Poppi



Osservatorio  
Astronomico  
di Cagliari

## Deformazioni dello specchio principale di SRT

Le misure fotogrammetriche delle deformazioni dello specchio principale (M1) di SRT hanno preso in considerazione le elevazioni: 15, 30, 45, 60, 75 e 90 deg (campagna Sigma3D, maggio-giugno 2012). Da queste misure derivano le lookup table utilizzate per adattare la superficie a quella teorica movimentando i 1116 attuatori.

Per ottenere le correzioni corrispondenti ad angoli di elevazione intermedi si è pensato inizialmente di utilizzare una qualche rappresentazione funzionale (polinomi, spline, ecc.) che, attuatore per attuatore, permettesse di stimare le correzioni nel modo più appropriato. Questo approccio è stato però frustrato dalla estrema erraticità dei dati fotogrammetrici che hanno consigliato un approccio più conservativo quale l'interpolazione lineare. La fotogrammetria restituisce un quadro molto accurato e realistico delle deformazioni (aberrazioni) dello specchio (Figura 1). Non è però chiaro se a livello del singolo attuatore la componente di rumore legata alla misura, stimabile in alcuni decimi di mm RMS, possa parzialmente coprire l'effetto gravitazionale che si vorrebbe correggere.

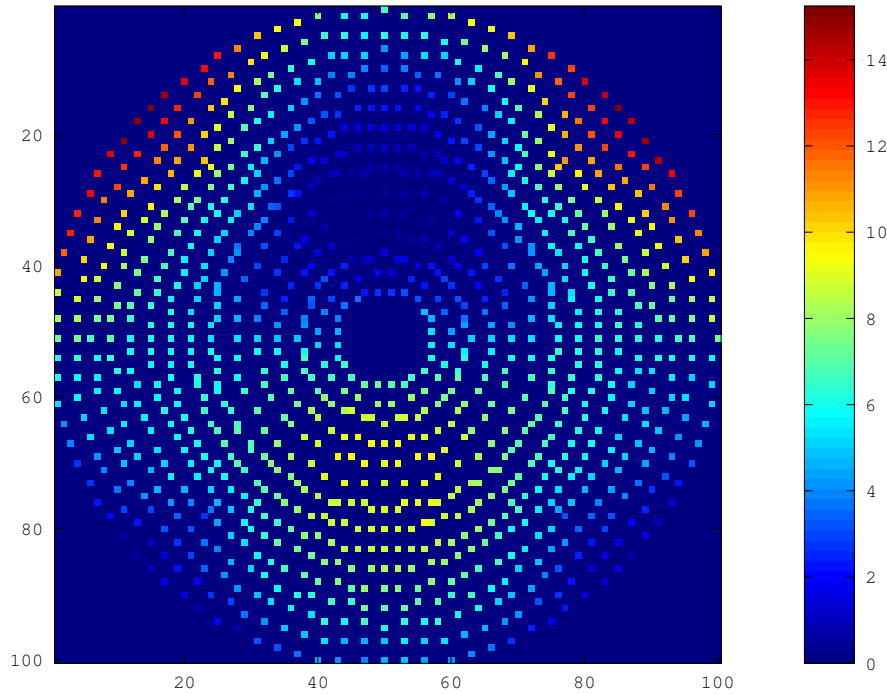


Figura 1: Correzioni (fotogrammetria, 90 deg) sulla superficie di M1 (mm)

## Analisi di M1 con i polinomi di Zernike - Fotogrammetria

Ci si può chiedere se con una tecnica di *smoothing* sia possibile attenuare la componente di rumore restituendo una mappa di correzioni affidabile. La risposta è che un generico algoritmo di *smoothing* prescinde totalmente dalla forma e dalle caratteristiche strutturali dell'antenna e può condurre quindi a risultati potenzialmente irrealistici.

I *polinomi di Zernike* sono una base ortonormale di regressori 2D utilizzati per la rappresentazione e la simulazione dei difetti nei sistemi ottici (Figura 2). Sono ampiamente impiegati anche in campo astronomico

perché permettono, tra l'altro, di rappresentare molto efficacemente le aberrazioni ottiche con un numero assai limitato di parametri.

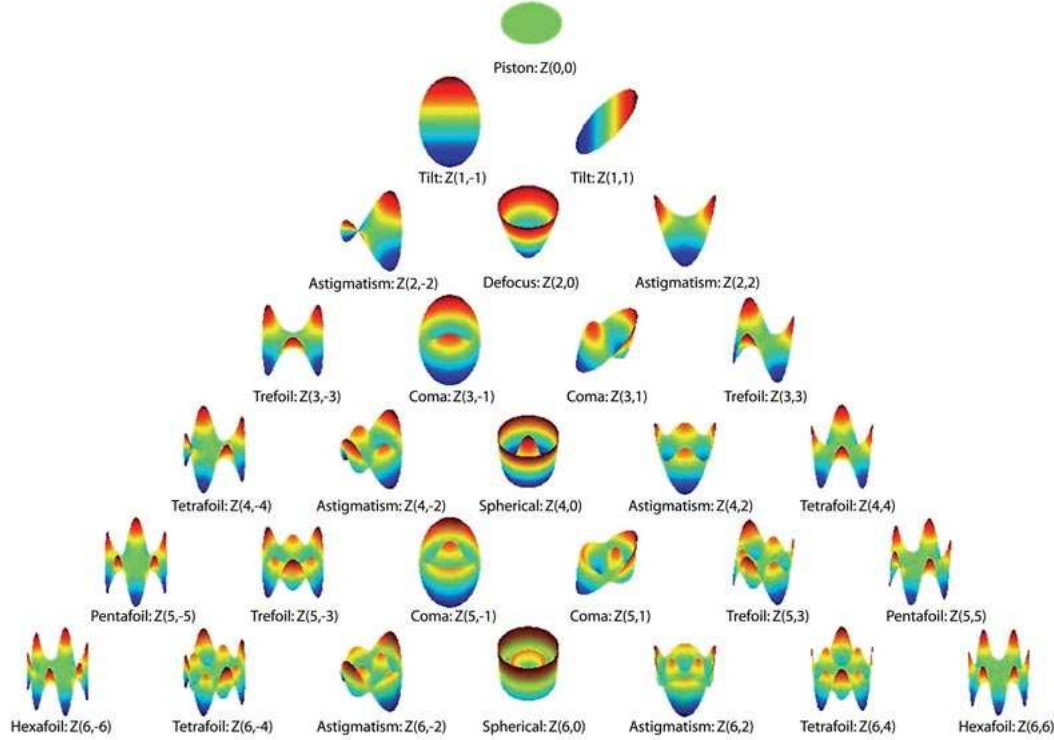


Figura 2: Aberrazioni descritte dai primi ordini dei polinomi di Zernike

In fase preliminare si è considerata una base estesa di polinomi (i primi 28) e la si è utilizzata per modellare le deformazioni di M1. Dall'analisi dei risultati è emerso che lo specchio principale è ben modellabile dalla combinazione lineare di un sotto insieme di 11 regressori. In Tabella 1 sono mostrati gli scarti quadratici relativi ai fit con gli 11 regressori delle 6 mappe delle deformazioni corrispondenti alle 6 elevazioni considerate dalla fotogrammetria.

N.	Elevation	RMS (mm)
1	15 deg	0.494
2	30 deg	0.395
3	45 deg	0.333
4	60 deg	0.331
5	75 deg	0.465
6	90 deg	0.566

Tabella 1: Confronto tra le deformazioni di M1 determinate dalla fotogrammetria e il fit con i polinomi di Zernike (11 parametri, 6 elevazioni)

La Tabella 2, invece, elenca quali polinomi sono stati selezionati e il peso percentuale che questi hanno nel modellare una data elevazione. L'ultima colonna descrive il tipo di aberrazione espressa dallo specifico polinomio. Si noti, ad esempio, che a 45 deg, l'astigmatismo è il difetto preponderante corrispondendo a più del 50% del budget complessivo.

N.	Z(n,m)	W15(%)	W30(%)	W45(%)	W60(%)	W75(%)	W90(%)	Aberration
1	Z(0,0)	5	1	1	4	3	3	Piston
2	Z(1,-1)	6	10	1	10	10	11	Pointing
3	Z(2,0)	17	1	8	13	11	10	Defocus
4	Z(2,2)	22	26	52	2	5	6	Astigmatism
5	Z(3,-3)	10	11	21	22	21	21	Trefoil
6	Z(3,-1)	16	25	3	25	26	27	Coma
7	Z(4,4)	10	10	1	6	5	4	Tetrafoil
8	Z(5,-5)	5	2	1	6	6	5	Pentafoil
9	Z(5,-3)	1	2	4	2	3	3	Trefoil
10	Z(5,-1)	5	8	4	7	8	9	Coma
11	Z(6,4)	3	5	4	3	2	2	Tetrafoil

Tabella 2: Peso percentuale dei polinomi di Zernike per le 6 elevazioni considerate (fotogrammetria)

La Figura 3 riporta i valori dei coefficienti associati a ciascuno dei polinomi utilizzati nei 6 fit. La componente predominante è quella che corrisponde al Trefoil e alla Coma (Z(3,-3) e Z(3,-1)) forse ascrivibili agli effetti strutturali della ruota di elevazione su M1.

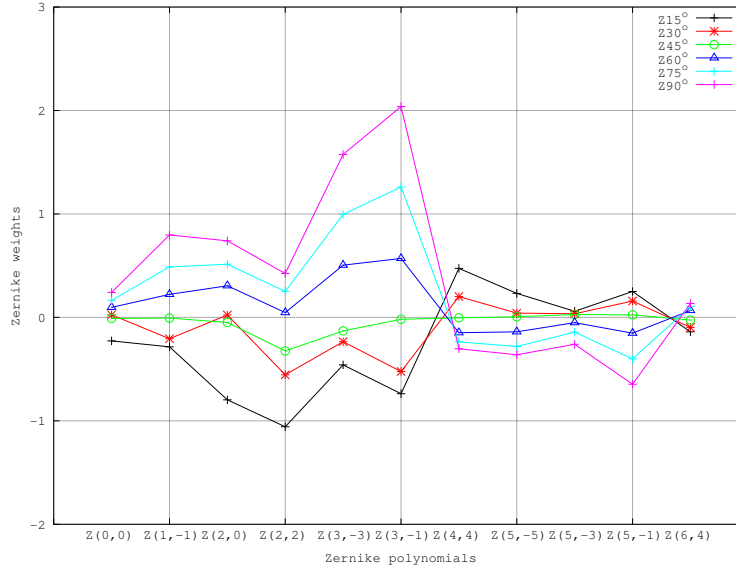


Figura 3: Coefficienti dei polinomi di Zernike utilizzati per modellare le deformazioni di M1 per le 6 elevazioni considerate (fotogrammetria)

Sarebbe interessante sperimentare sull'antenna il modello di M1 realizzato con i polinomi di Zernike dato che questi potrebbero rivelarsi degli interpolatori più efficaci del modello lineare attualmente adottato in quanto meno proni, a livello del singolo attuatore, all'errore statistico.

## Analisi di M1 con i polinomi di Zernike - FEM

L'analisi basata sui polinomi di Zernike è stata effettuata sulle deformazioni stimate dal modello FEM realizzato da MTM (simulazione #28, elevazioni: 5, 30, 45, 70 e 90 deg). Poiché 45 deg è l'elevazione scelta per l'allineamento dei pannelli a questa corrispondono, per la fotogrammetria, correzioni minime mentre per

il modello FEM le deformazioni sono state considerate per ipotesi nulle.

Nelle Tabella 3 e 4 e in Figura 4 sono riportati, come nel caso precedente, i risultati dei fit. Si noti che si è adottato lo stesso set di regressori (polinomi) utilizzati nell'analisi della fotogrammetria benché questa scelta potrebbe non essere quella ottimale e ciò per facilitare il confronto fra i due casi. Si noterà comunque che dal FEM emerge una rappresentazione delle deformazioni chiaramente più semplificata rispetto al caso precedentemente discusso.

N.	Elevation	RMS (mm)
1	5 deg	0.441
2	30 deg	0.224
3	45 deg	0.000
4	70 deg	0.258
5	90 deg	0.530

Tabella 3: Confronto tra le deformazioni di M1 determinate dal modello FEM di MTM e il fit con i polinomi di Zernike (11 parametri, 5 elevazioni)

N.	Z(n,m)	W5(%)	W30(%)	W45(%)	W70(%)	W90(%)	Aberration
1	Z(0,0)	0	0	0	0	0	Piston
2	Z(1,-1)	9	10	0	12	12	Pointing
3	Z(2,0)	2	1	0	1	1	Defocus
4	Z(2,2)	7	6	0	5	5	Astigmatism
5	Z(3,-3)	4	4	0	3	3	Trefoil
6	Z(3,-1)	32	36	0	41	43	Coma
7	Z(4,4)	19	14	0	8	5	Tetrafoil
8	Z(5,-5)	6	7	0	8	9	Pentafoil
9	Z(5,-3)	4	5	0	5	6	Trefoil
10	Z(5,-1)	10	12	0	14	15	Coma
11	Z(6,4)	6	4	0	2	2	Tetrafoil

Tabella 4: Peso percentuale dei polinomi di Zernike per le 5 elevazioni considerate (FEM)

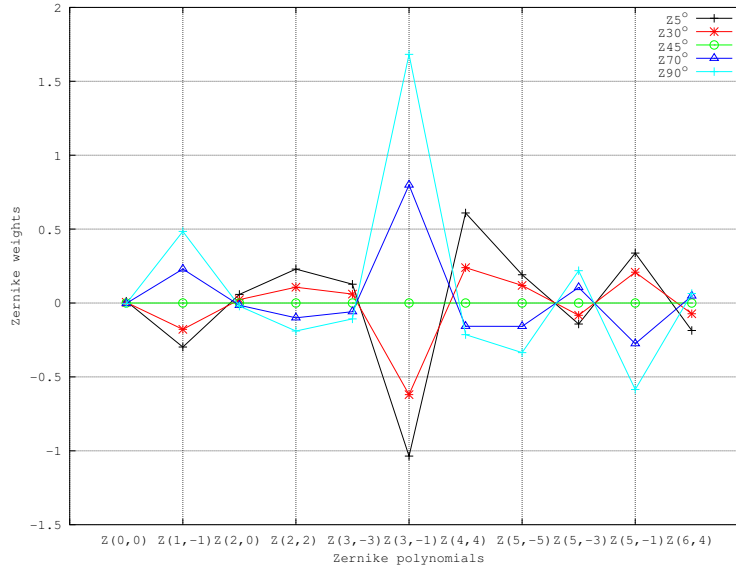


Figura 4: Coefficienti dei polinomi di Zernike utilizzati per modellare le deformazioni di M1 per le 5 elevazioni considerate (FEM)

## Grafici

Nei grafici successivi (da Figura 5 in poi) sono rappresentate le correzioni della forma di M1 (configurazione shaped) determinate dalle misure fotogrammetriche (misure maggio-giugno 2012, elevazioni: 15, 30, 45, 60, 75 e 90 deg) e quelle stimate dal modello FEM realizzato da MTM (simulazione #28, elevazioni: 5, 30, 45, 70 e 90 deg). I grafici mostrano le correzioni da impostare agli attuatori raggruppati per Hoop (cerchi) dal primo (il più interno) al quindicesimo (il più esterno). I numeri di linea (ovvero i raggi) sono le ascisse dei plot e sono in numero variabile dipendentemente dall'Hoop a cui appartengono.

Nella convenzione usata per i plot le linee sono ordinate a partire dalla prima (Truss #25) fino alla novantaseiesima (Truss #26) percorrendo M1 in senso orario. Per ogni Hoop vengono rappresentate le correzioni corrispondenti alle varie elevazioni.

Sono inoltre rappresentate le correzioni ottenute dalla modellazione con i polinomi di Zernike per i due casi.

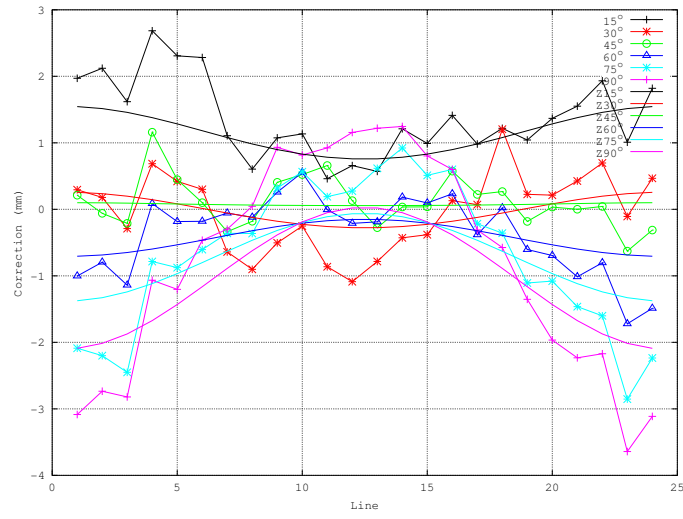


Figura 5: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 1

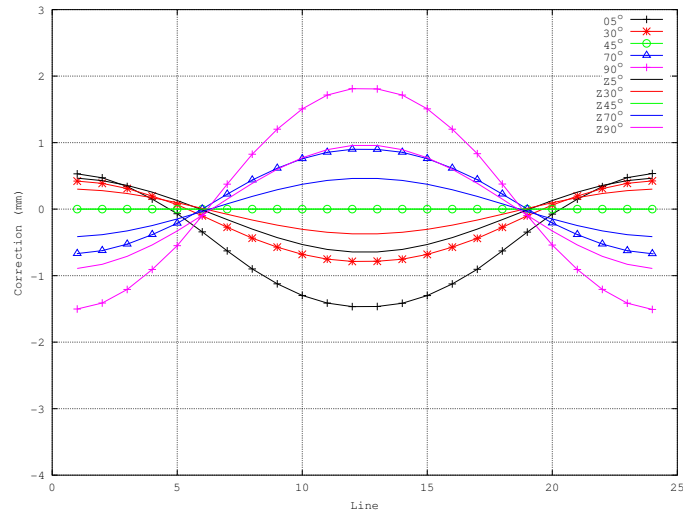


Figura 6: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 1

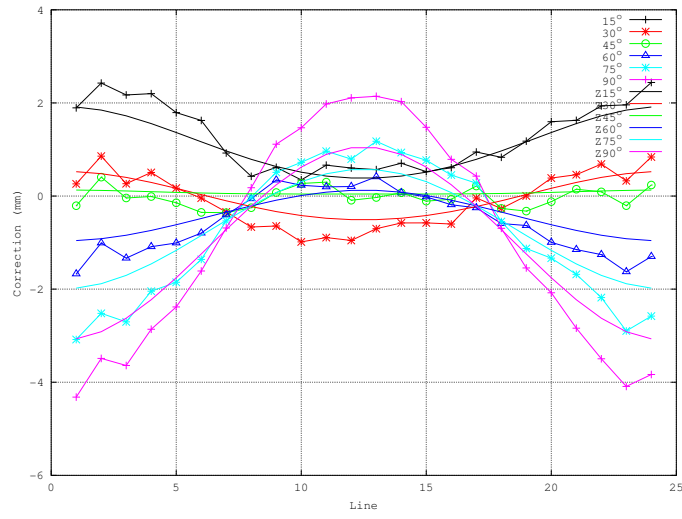


Figura 7: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 2

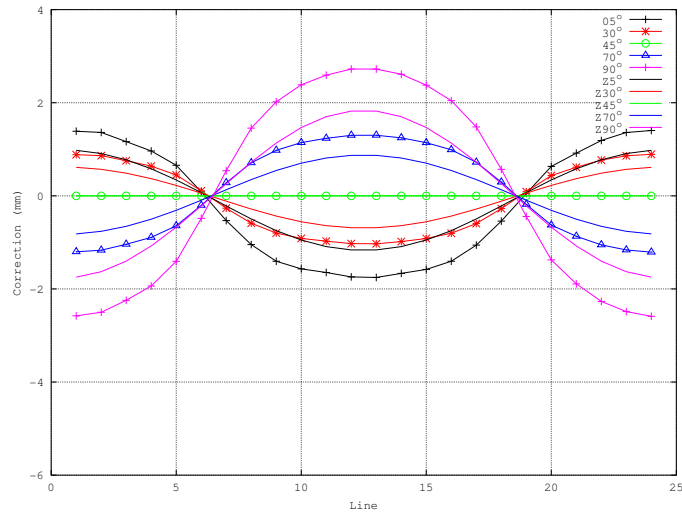


Figura 8: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 2



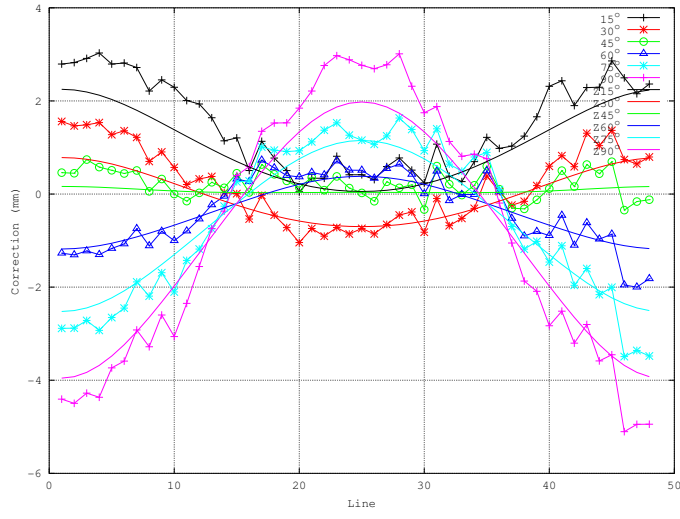


Figura 9: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 3

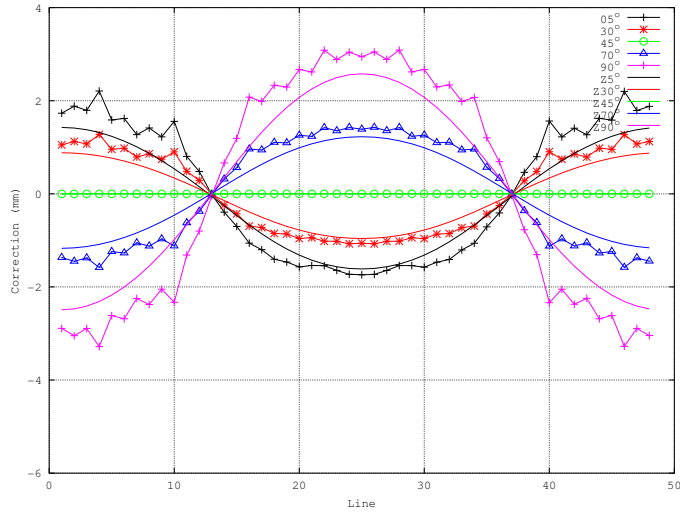


Figura 10: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 3

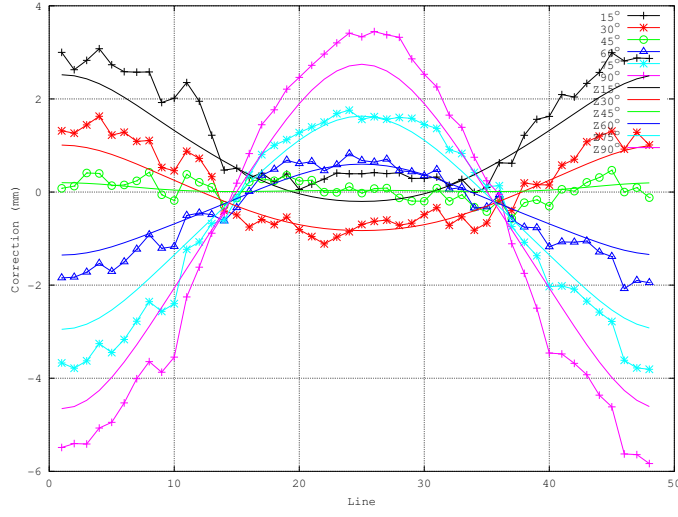


Figura 11: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 4

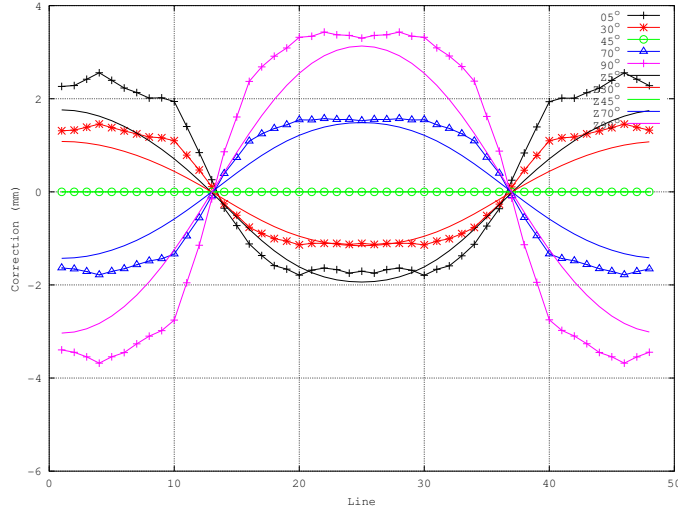


Figura 12: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 4

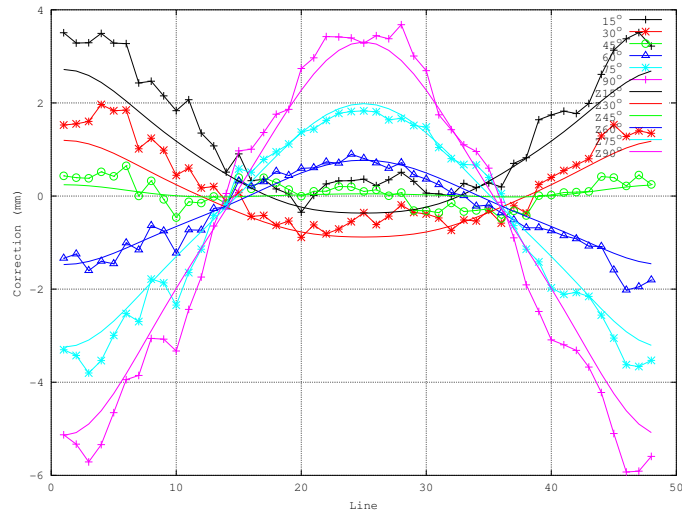


Figura 13: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 5

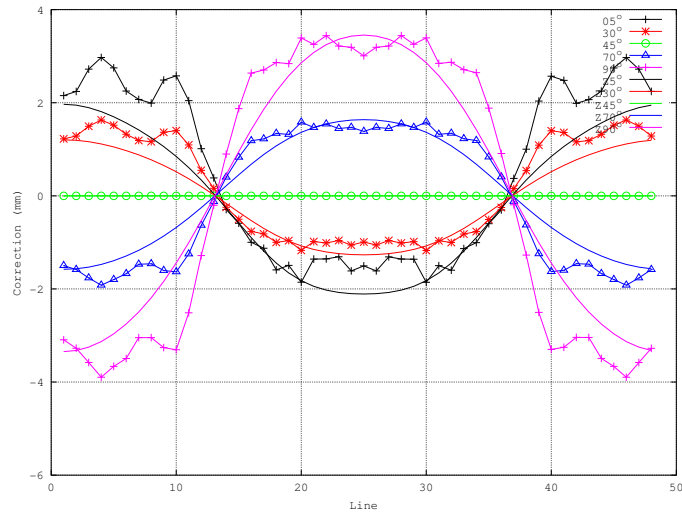


Figura 14: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 5

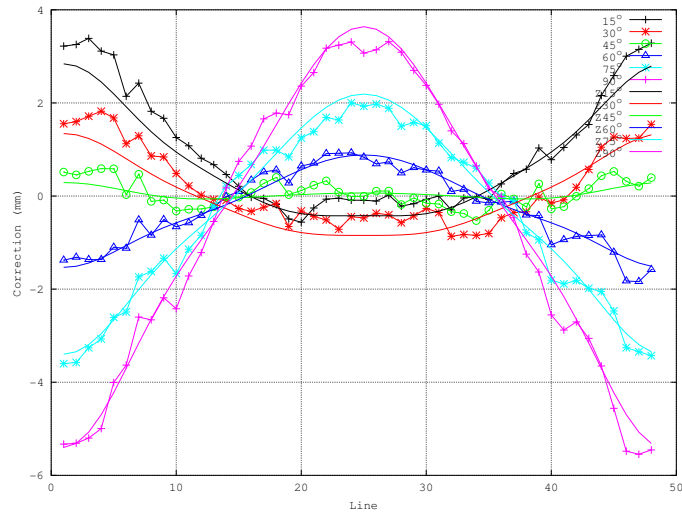


Figura 15: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 6

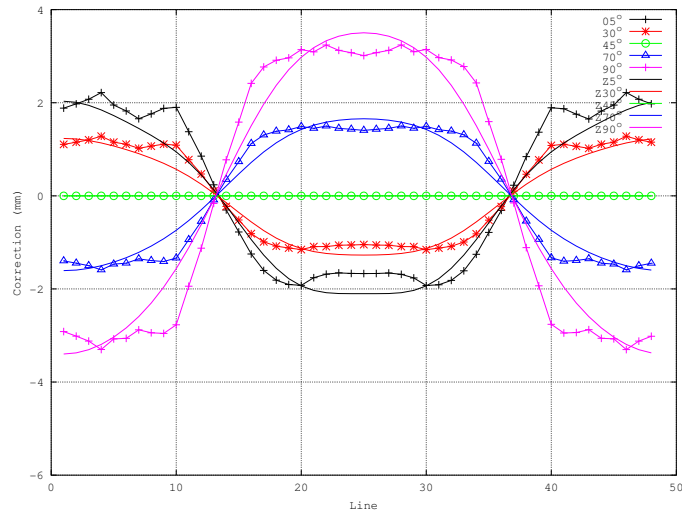


Figura 16: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 6

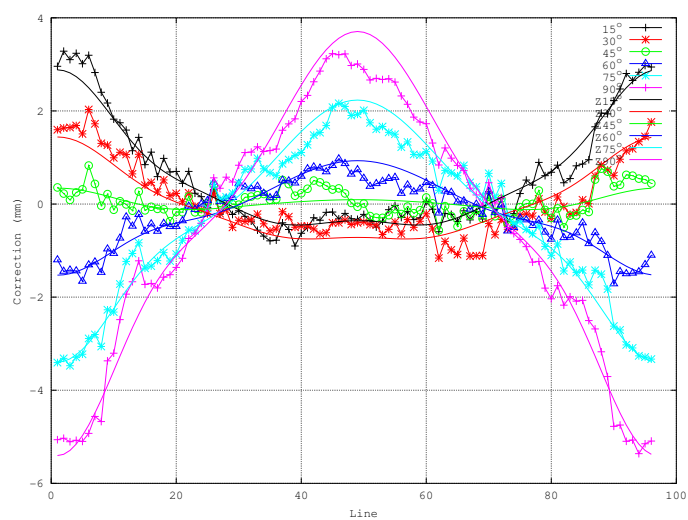


Figura 17: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 7

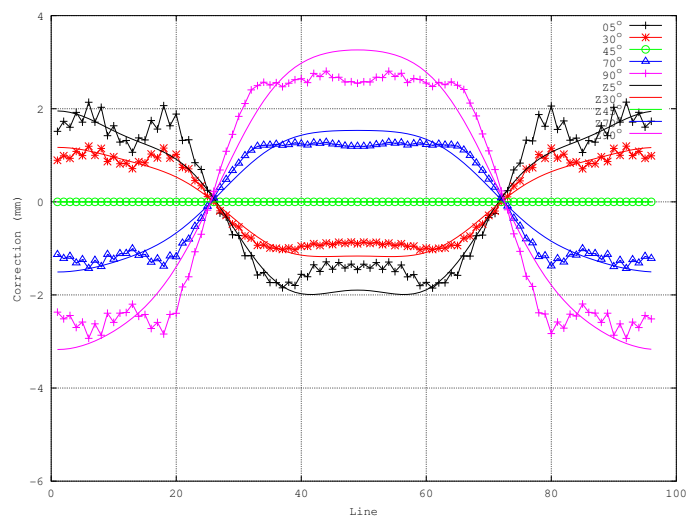


Figura 18: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 7

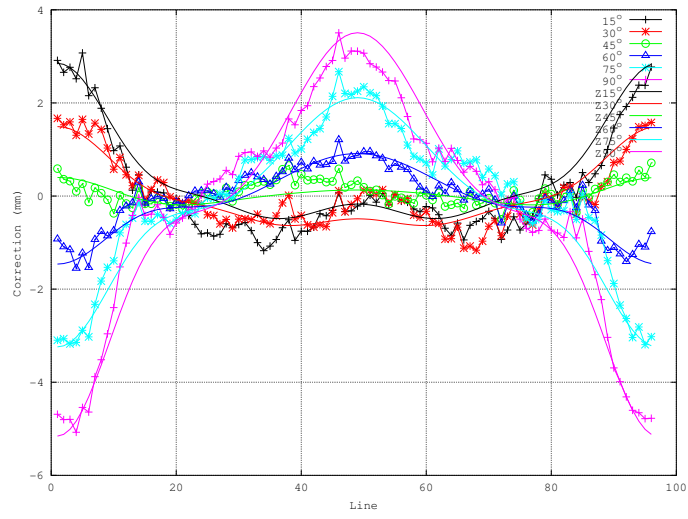


Figura 19: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 8

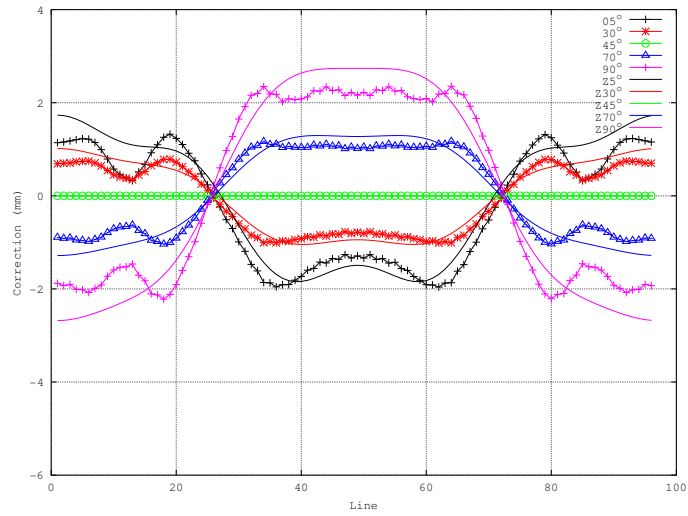


Figura 20: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 8

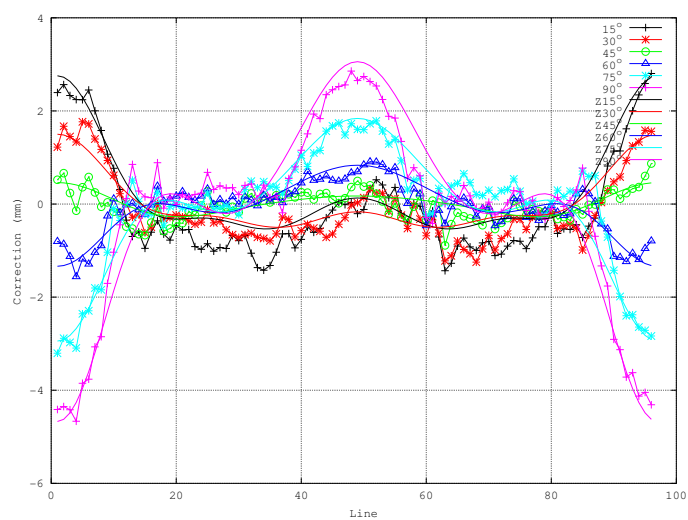


Figura 21: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 9

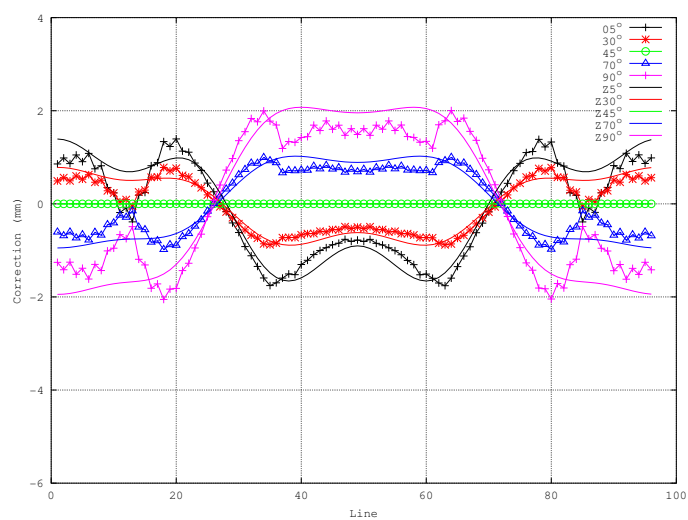


Figura 22: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 9

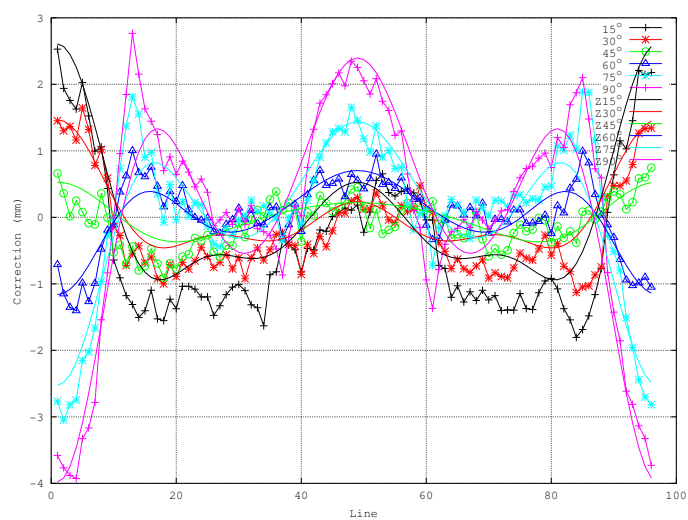


Figura 23: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 10

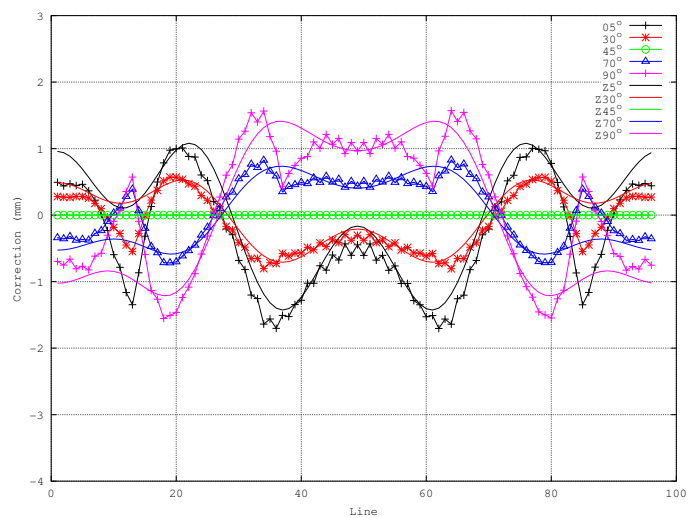


Figura 24: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 10



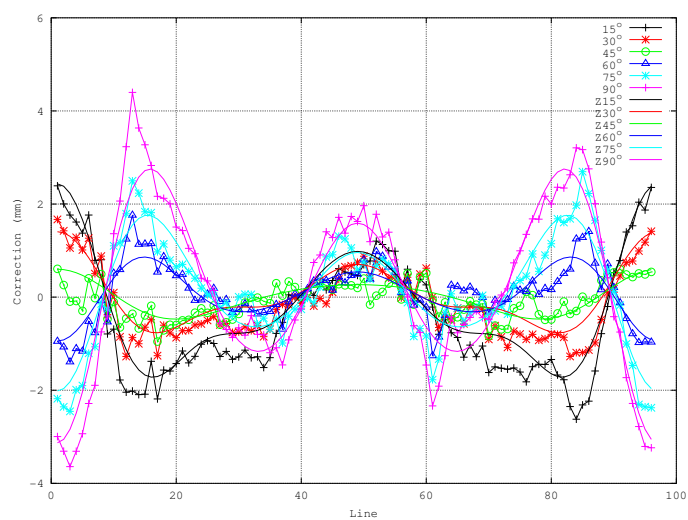


Figura 25: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 11

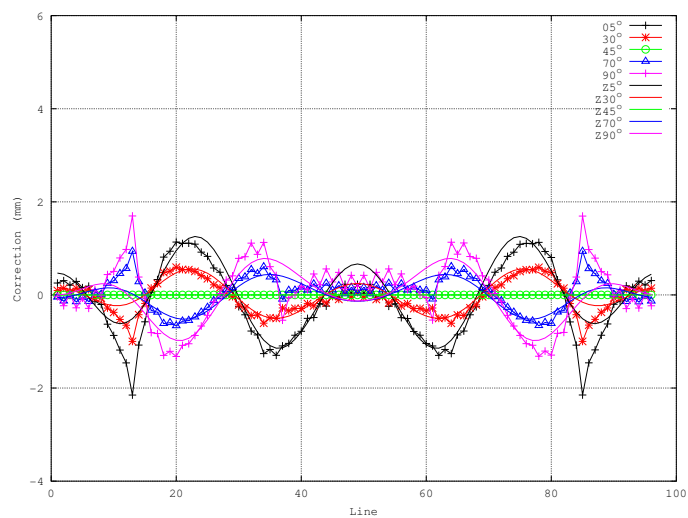


Figura 26: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 11

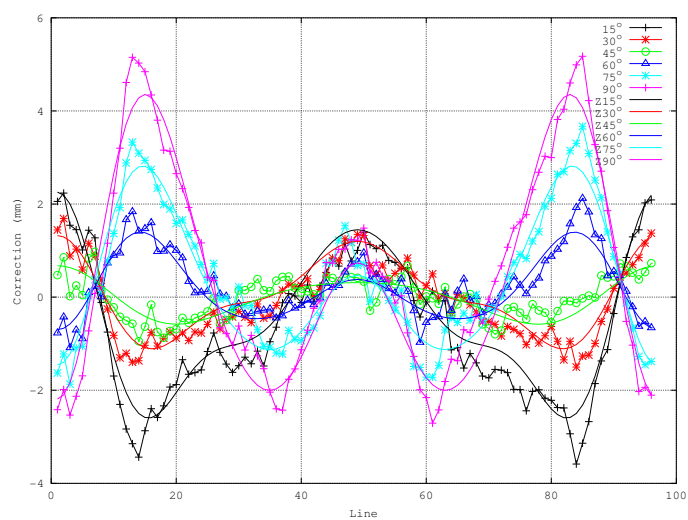


Figura 27: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 12

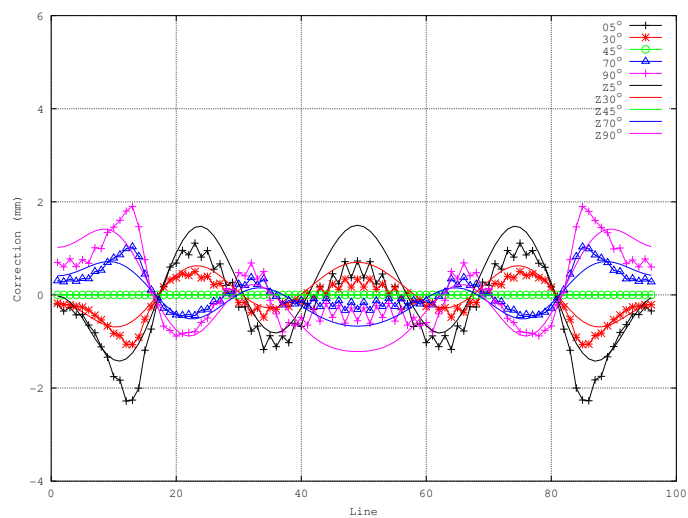


Figura 28: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 12

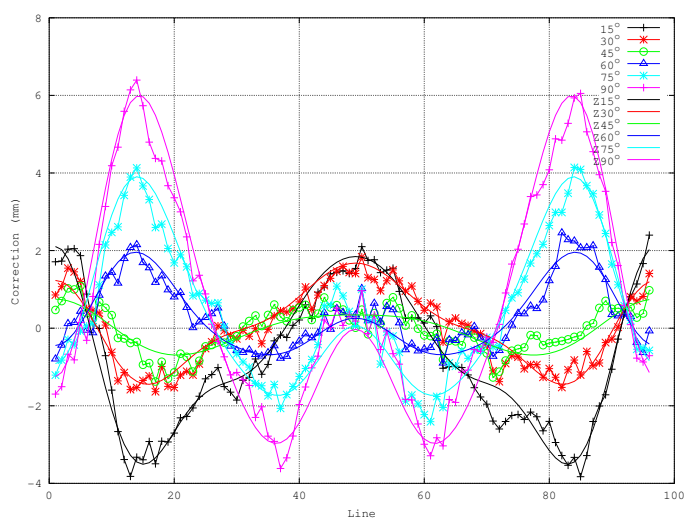


Figura 29: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 13

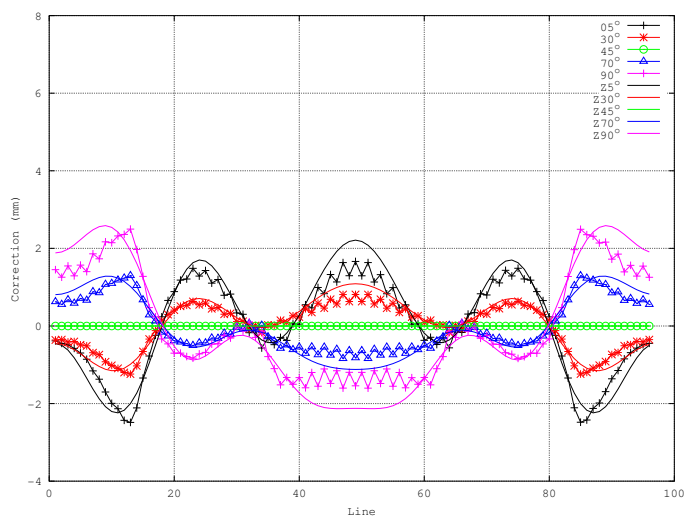


Figura 30: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 13

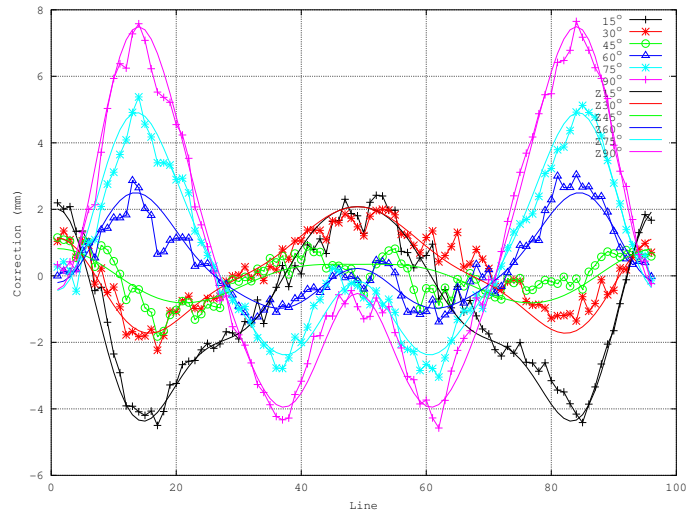


Figura 31: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 14

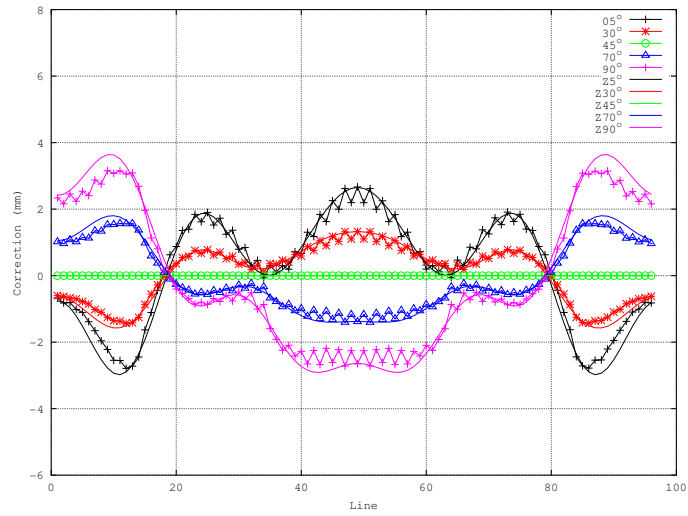


Figura 32: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 14

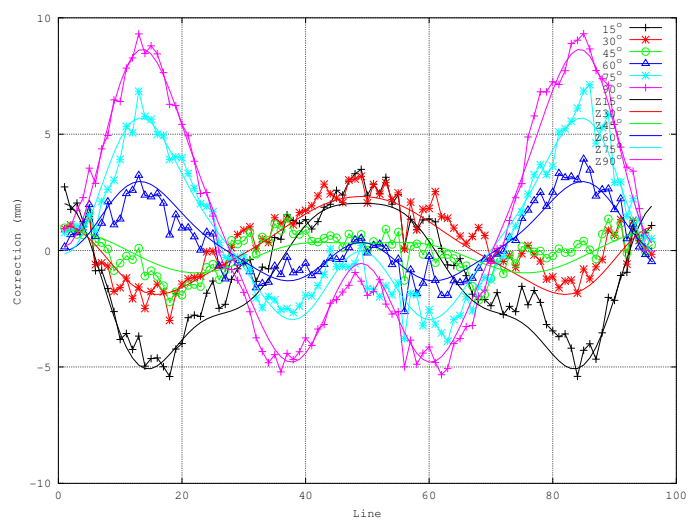


Figura 33: Elongazioni degli attuatori (fotogrammetria e polinomi di Zernike), Hoop 15

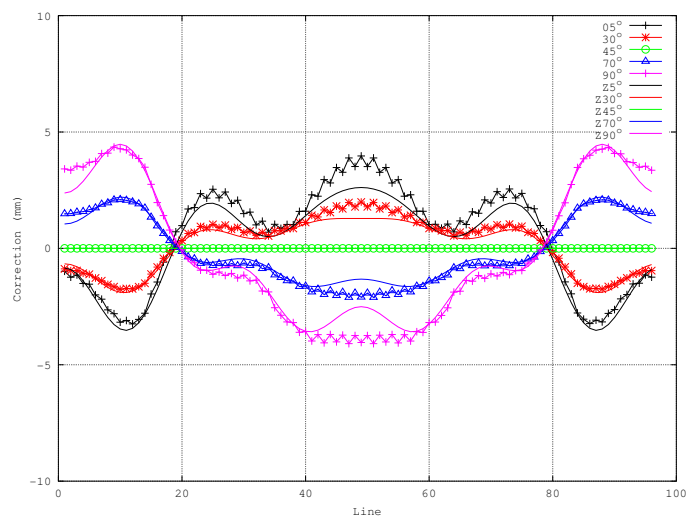


Figura 34: Elongazioni degli attuatori (FEM e polinomi di Zernike), Hoop 15

# Addendum

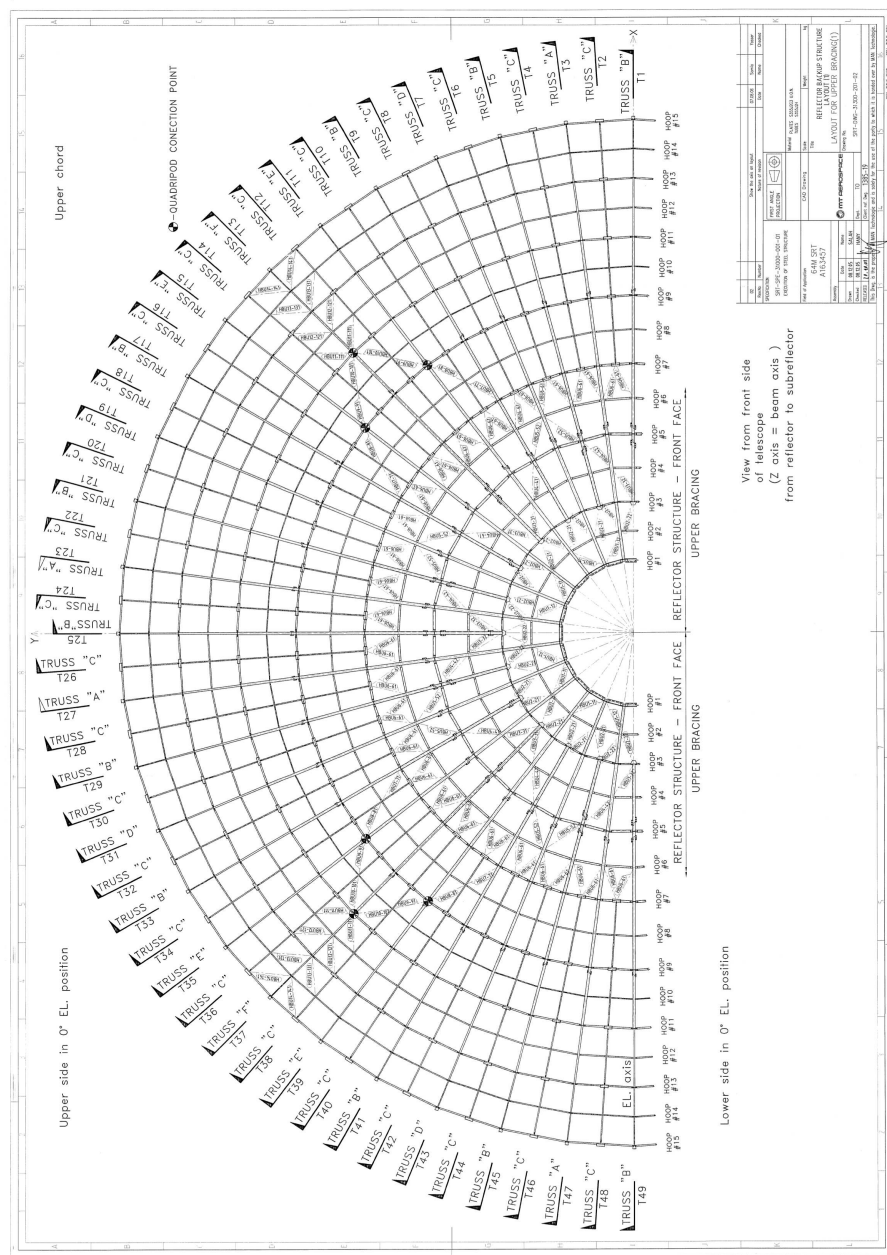


Figura 35: Tavola degli attuatori (UP)

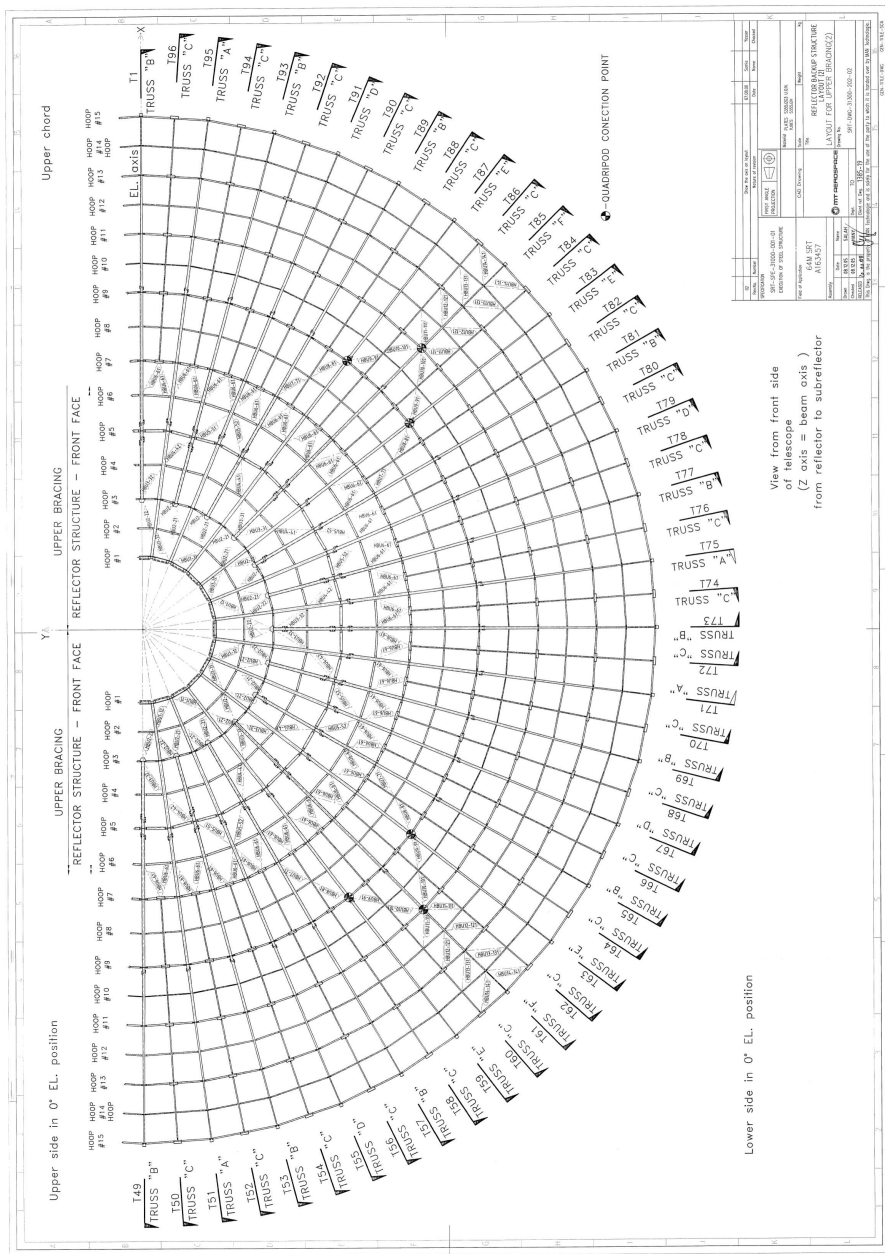


Figura 36: Tavola degli attuatori (DOWN)