

RAPPORTO TECNICO:

Analisi problematiche vibrazionali su macchina TG 30A SSM GIUDICI S.r.l.

Contributing authors: M. Leonesio

Last 3 versions:	authors	date	notes
0.0	ML	15/02/18	draft
0.1	ML	18/02/18	draft
0.2	ML	20/02/18	draft
0.3	ML, GB	29/03/2018	definitivo

Access allowed to: ITIA-DASM, SSM GIUDICI S.r.l.

Doc: Relazione TG 30A SSM GIUDICI V0.3_DRAFT.docx

1. Sommario dei risultati più significativi

- Il documento analizza le misure effettuate da ITIA-CNR su macchina TG 30A SSM GIUDICI presso Golden Lady di Basciano (Te) il 12 e 13 febbraio 2018. Sono state fatte misure accelerometriche in diverse condizioni operative ed un'analisi modale sperimentale per caratterizzare il comportamento dinamico di una campata della macchina
- L'analisi tempo frequenza delle accelerazioni rilevate in diversi punti della struttura rivela la presenza di componenti armoniche importanti alle frequenze di circa 55Hz, 58Hz, 41Hz e 35Hz.
- La componente a 55Hz risulta predominante: corrisponde ad una risonanza associata ad un modo di vibrare che muove molto il bordo centrale esterno della lamiera del piano mediano della struttura (indicato come "mensola"). Tale risonanza viene eccitata da uno sbilanciamento/disallineamento dell'albero della camma. **NOTA BENE:** questo non significa che la camma è il solo organo rotante sbilanciato, ma solo che, a fronte della sua velocità di rotazione, nelle condizioni contingenti, essa è portata ad eccitare questa risonanza importante (è l'unico albero, oltre a quello dei fusi, che arriva a 58Hz).
- In misura minore, si riscontrano altre 3 frequenze significative:
 - o 35Hz, rilevabile in corrispondenza dei cuscinetti dell'albero master (punto 20) ed eccitata dalla rotazione di quest'ultimo;
 - o 42Hz, rilevabile in corrispondenza dei cuscinetti dell'albero di raccolta (punto 16) ed associabile a quest'ultimo.

- 58Hz rilevabile sul bordo esterno del piano più alto della struttura (punto 3) ed è nuovamente eccitata dalla rotazione della camma.
- La risonanza critica a 55Hz sembra essere associata alla deformazione della lamiera che costituisce il ripiano centrale di supporto ("mensola").
- L'o-ring polimerico tra cuscinetto camma e struttura non sembra essere in grado di isolare l'albero della camma dalla struttura, non rappresenta, cioè, una sospensione efficace: i punti a monte e a valle dell'o-ring, infatti, oscillano come se appartenessero ad singolo un corpo rigido.
- Il modo a 35Hz coinvolge l'albero di raccolta e, in misura minore, l'albero master.
- Il modo a circa 42Hz è associato ad un cedimento dell'albero di raccolta, cuscinetto compreso.
- Il modo a 58Hz coinvolge la "mensola" alta ed il relativo zetto.
- Le frequenze di risonanza associate alla flessione dei supporti motore (master, raccolta e zetto) non sono visibili nei diagrammi Tempo-Frequenza durante le prove di funzionamento, né sono rilevabili nelle Funzioni di Risposta in Frequenza che hanno per uscite altri punti della macchina. Ne consegue che la dinamica locale dei motori non influenza l'insorgere di vibrazioni.
- Le FRF mostrano come un punto della macchina appena a monte del piedino risente della risonanza critica a 55Hz. Ciò conferma la notevole entità della vibrazione associata. Non si ritiene però che modificare i piedini possa ridurre significativamente questa vibrazione.

2. Frequenze caratteristiche

	Master m/min	Master Hz	zetto Hz	camma Hz	Stiro HZ	Raccolt a HZ	fusi Hz
Prova Riferimento	750.00	33.17	15.62	46.85	24.96	31.18	135.23
Rampa Up&Down (val max)	1000.00	44.22	19.17	57.50	33.28	41.58	101.43
Prova con zetto	400.00	17.69	8.33	24.99	13.31	16.63	40.57

3. Analisi Tempo-Frequenza

3.1 Ramp Up&Down con rotazione simultanea di tutti gli alberi

Si riporta di seguito una tabella con le accelerazioni rilevate durante prove di Ramp Up e Ramp Down con albero master fino a 1000m/min.

La tabella successiva dà una visione complessiva sulle frequenze rilevate in tutti i punti di misura, sia in termini di accelerazione che di spostamento.

Point Name	RMS Acc [m/s ²]	Max Acc Comp. [m/s ²]	Freq. of Max Acc [Hz]	RMS Displ [m]	Max Displ [m]	Freq. of Max Displ [Hz]
24:C7:2:-Z	0.150712045	12.40763708	55	1.2923E-06	0.000103897	55
23:C7:2:+X	0.000239086	0.008810353	53	1.8986E-09	7.94478E-08	53
22:C7:2:+Y	0.111020254	12.41377329	55	9.30027E-07	0.000103949	55
21:C7:1:-Z	0.027311861	2.612952455	55	2.29851E-07	2.188E-05	55
20:C7:1:+X	6.52193E-05	0.002720202	100	5.54705E-10	1.84125E-08	37
19:C7:1:+Y	0.032513236	2.396520431	54	2.8262E-07	2.08178E-05	54
18:C6:1:-Z	0.014578146	1.191579971	56	1.19428E-07	9.6247E-06	56
17:C6:1:+X	0.000106435	0.005689867	56	8.5226E-10	4.59585E-08	56
16:C6:1:+Y	0.015765491	1.300249741	55	1.33727E-07	1.08878E-05	55
15:C6:2:-Z	0.027124162	1.999218649	55	2.23701E-07	1.67408E-05	55
14:C6:2:+X	0.000154598	0.004719976	99	1.75882E-09	6.60114E-08	40
13:C6:2:+Y	0.030217321	2.248161792	54	2.62461E-07	1.9529E-05	54
12:C5:1:+X	6.0559E-05	0.001417614	56	5.15953E-10	1.52433E-08	32
11:C5:1:-Z	0.017704516	1.258733618	55	1.46584E-07	1.05402E-05	55
10:C5:1:+Y	0.03899921	3.140180099	55	3.32685E-07	2.62948E-05	55
9:C5:2:-Z	0.012942918	0.951556021	56	1.06979E-07	7.68597E-06	56
8:C5:2:+X	0.000199361	0.008089594	41	2.91023E-09	1.22504E-07	40
7:C5:2:+Y	0.023644565	1.465366341	54	2.09068E-07	1.27291E-05	54
6:C1:2:-Z	0.014357214	1.784966435	55	1.20396E-07	1.49467E-05	55
5:C1:2:+X	0.000298595	0.011090624	41	4.37706E-09	1.6712E-07	41
4:C1:2:+Y	0.017478739	1.833155492	55	1.49654E-07	1.53502E-05	55
3:C1:3:-Z	0.00790539	0.412753986	58	6.02921E-08	3.10796E-06	58
2:C1:3:+X	0.000226812	0.00850358	58	1.91966E-09	6.40304E-08	58
1:C1:3:+Y	0.027981135	1.204494026	58	2.23782E-07	9.18786E-06	57
24:C4:2:-Z	0.028429974	2.347728034	55	2.45031E-07	1.96591E-05	55
23:C4:2:+X	0.000393766	0.010862036	41	5.55181E-09	1.66873E-07	40
22:C4:2:+Y	0.028423039	2.352760744	55	2.34504E-07	1.97012E-05	55
21:C4:1:-Z	0.006071437	0.577323648	55	5.06748E-08	4.83431E-06	55
20:C4:1:+X	0.000149919	0.003102939	60	1.16481E-09	2.61318E-08	32

19:C4:1:+Y	0.026282447	1.802974935	53	2.3541E-07	1.62584E-05	53
18:C3:1:-Z	0.019132236	2.122177858	55	1.59602E-07	1.77704E-05	55
17:C3:1:+X	0.000230759	0.005685978	60	1.74029E-09	4.00076E-08	60
16:C3:1:+Y	0.019722973	1.946136784	55	1.67012E-07	1.62963E-05	55
15:C3:2:-Z	0.058060395	6.774591022	55	4.87187E-07	5.67281E-05	55
14:C3:2:+X	0.000571701	0.014198426	40	7.94488E-09	2.24781E-07	40
13:C3:2:+Y	0.078666866	6.8312887	55	6.72248E-07	5.72028E-05	55
12:C2:1:+X	0.000328416	0.010850566	59	2.46693E-09	7.89566E-08	59
11:C2:1:-Z	0.003190981	0.301557256	55	2.66165E-08	2.52514E-06	55
10:C2:1:+Y	0.005727561	0.502987322	55	4.9541E-08	4.21184E-06	55
9:C2:2:-Z	0.025425186	2.362655968	54	2.17385E-07	2.05236E-05	54
8:C2:2:+X	0.000548395	0.012967938	41	7.47952E-09	1.95409E-07	41
7:C2:2:+Y	0.049800938	4.595521368	54	4.40047E-07	3.99197E-05	54
6:C1:2:-Z	0.027058865	3.884112498	55	2.27034E-07	3.25242E-05	55
5:C1:2:+X	0.000438492	0.010312105	41	6.10762E-09	1.56469E-07	40
4:C1:2:+Y	0.026975356	3.396883687	55	2.28322E-07	2.84443E-05	55
3:C1:1:-Z	0.091468002	8.25303013	55	7.74824E-07	6.9108E-05	55
2:C1:1:+X	0.000464644	0.017273095	59	3.52476E-09	1.25692E-07	59
1:C1:1:+Y	0.108763382	9.566669002	55	9.40296E-07	8.0108E-05	55
24:C1:27:+Y	5.26357E-09	2.61958E-07	35	1.6973E-13	6.09093E-12	6
23:C1:27:+X	1.16874E-08	7.49463E-07	35	2.74768E-13	1.54972E-11	35
22:C1:27:+Z	3.23513E-07	1.82323E-05	35	5.95664E-12	3.77004E-10	35
21:C1:26:+Y	3.57011E-06	0.000147562	35	5.68642E-11	3.05125E-09	35
20:C1:26:+X	1.63523E-05	0.000706119	58	1.31638E-10	5.31694E-09	58
19:C1:26:+Z	3.09193E-05	0.001266736	38	4.67017E-10	2.22208E-08	38
9:C1:24:+Y	1.01602E-06	3.53144E-05	59	1.50942E-11	5.57369E-10	28
8:C1:24:+X	2.04688E-06	0.000128819	59	2.62302E-11	1.02216E-09	6
7:C1:24:+Z	1.21438E-05	0.0004106	48	1.55935E-10	4.979E-09	36
6:C1:2:-Z	0.021574929	2.566537223	55	1.80823E-07	2.14913E-05	55
5:C1:2:+X	0.000297978	0.010267334	40	4.29343E-09	1.62547E-07	40
4:C1:2:+Y	0.021587401	2.322595656	55	1.83087E-07	1.94486E-05	55
3:C1:25:+Y	9.35003E-08	3.23393E-06	33	2.09814E-12	7.52218E-11	33
2:C1:25:+X	2.93627E-09	1.78639E-07	35	6.23046E-14	3.69386E-12	35
1:C1:25:+Z	7.99067E-10	2.61511E-08	37	3.95388E-14	1.748E-12	6
24:C1:15:-Z	0.000225658	0.007485574	40	3.55725E-09	1.18507E-07	40
23:C1:15:+Y	0.000420865	0.022273385	58	3.29199E-09	1.67714E-07	58

22:C1:15:-X	0.001055658	0.06007183	58	8.01064E-09	4.5233E-07	58
21:C1:14:-Z	7.56318E-05	0.004322678	58	6.18907E-10	3.2549E-08	58
20:C1:14:+X	0.000240138	0.008095871	40	3.84123E-09	1.28169E-07	40
19:C1:14:+Y	0.001908545	0.105294063	58	1.44576E-08	7.92845E-07	58
18:C1:16:-Z	0.00832672	0.272253566	41	1.22882E-07	4.10248E-06	41
17:C1:16:+X	0.001128019	0.042035791	83	6.22455E-09	1.54562E-07	83
16:C1:16:+Y	0.010665304	0.363834612	42	1.55805E-07	5.22451E-06	42
15:C1:23:+X	0.000199504	0.005904957	55	2.15908E-09	5.06978E-08	32
14:C1:23:-Y	1.93519E-05	0.000769467	41	3.0461E-10	1.15948E-08	41
13:C1:23:+Z	3.02667E-05	0.001077475	48	3.83458E-10	1.18458E-08	48
12:C1:20:+X	0.000171259	0.008655088	36	2.9785E-09	1.69164E-07	36
11:C1:20:-Z	0.000703388	0.065713397	35	1.37524E-08	1.35881E-06	35
10:C1:20:+Y	0.008174327	0.804696418	35	1.66273E-07	1.66393E-05	35
9:C1:22:+X	8.94457E-05	0.003254798	41	1.32099E-09	4.90452E-08	41
8:C1:22:-Y	1.92848E-05	0.000629861	41	3.20623E-10	1.00077E-08	29
7:C1:22:+Z	1.32002E-05	0.000385633	48	2.02397E-10	7.1158E-09	37
6:C1:2:-Z	0.010113922	1.179736446	55	8.52825E-08	9.8787E-06	55
5:C1:2:+X	0.000309923	0.009990275	40	4.41772E-09	1.5816E-07	40
4:C1:2:+Y	0.013921333	1.253274922	55	1.22758E-07	1.04945E-05	55
3:C1:21:-Z	1.47978E-05	0.001158794	35	2.7061E-10	2.39613E-08	35
2:C1:21:+X	0.000122641	0.005367717	41	2.00903E-09	8.91717E-08	35
1:C1:21:+Y	6.88604E-05	0.007102745	35	1.39253E-09	1.46869E-07	35
24:C1:12:-Z	0.000118188	0.005803813	59	1.08589E-09	4.22328E-08	59
23:C1:12:+Y	0.005529634	0.227355234	58	4.3131E-08	1.78992E-06	56
22:C1:12:-X	0.012771603	0.554876855	58	9.91672E-08	4.17812E-06	58
21:C1:17:-Z	0.006594225	0.305926714	58	5.12458E-08	2.30357E-06	58
20:C1:17:+Y	0.001912126	0.091136876	59	1.48275E-08	6.63178E-07	59
19:C1:17:-X	9.0584E-05	0.003853572	59	9.94138E-10	2.80414E-08	59
18:C1:4:-Z	0.000629332	0.029903138	58	4.80989E-09	2.25165E-07	58
17:C1:4:+X	9.05949E-05	0.003715068	58	9.95102E-10	2.79738E-08	58
16:C1:4:+Y	0.01107186	0.49897212	59	8.6422E-08	3.6979E-06	58
15:C1:13:-Z	0.002823206	0.106600328	42	4.14287E-08	1.53074E-06	42
14:C1:13:+X	0.000154533	0.00626797	83	9.7067E-10	2.60337E-08	41
13:C1:13:+Y	0.000391226	0.013314355	42	6.26971E-09	2.16088E-07	38
12:C1:19:+X	0.000138398	0.005753013	36	2.26639E-09	1.12443E-07	36
11:C1:19:-Z	2.41378E-05	0.001340879	35	4.09885E-10	2.77264E-08	35

10:C1:19:+Y	3.93976E-05	0.001355284	40	5.9766E-10	2.18416E-08	35
9:C1:3:-Z	0.007624815	0.369559233	58	5.90333E-08	2.78271E-06	58
8:C1:3:+X	0.000195044	0.007443219	58	1.70641E-09	5.60461E-08	58
7:C1:3:+Y	0.03143933	1.366108048	57	2.5408E-07	1.06506E-05	57
6:C1:2:-Z	0.015699656	1.912184471	55	1.32006E-07	1.6012E-05	55
5:C1:2:+X	0.000287674	0.009762946	40	4.14658E-09	1.54561E-07	40
4:C1:2:+Y	0.019324945	2.029415684	55	1.65053E-07	1.69936E-05	55
3:C1:18:-Z	0.000258879	0.009674367	47	3.25618E-09	1.10935E-07	47
2:C1:18:+X	0.000115166	0.003515545	82	1.39813E-09	4.17827E-08	37
1:C1:18:+Y	0.000406212	0.015446859	41	6.19587E-09	2.32762E-07	41
24:C1:11:-Z	0.027074314	0.931882995	58	2.09655E-07	7.01691E-06	58
23:C1:11:+X	0.000306205	0.011776967	59	2.38191E-09	8.56978E-08	59
22:C1:11:+Y	0.000447693	0.016546519	59	3.33101E-09	1.20405E-07	59
21:C1:10:-Z	0.000206143	0.008563302	59	1.56037E-09	6.39002E-08	58
20:C1:10:+X	0.00024513	0.00929285	58	1.99808E-09	6.99734E-08	58
19:C1:10:+Y	0.001675343	0.07186128	45	1.50928E-08	8.98898E-07	45
18:C1:9:-Z	0.000400891	0.032960208	55	3.40707E-09	2.75997E-07	55
17:C1:9:+X	0.000319683	0.011471561	40	4.60634E-09	1.81611E-07	40
16:C1:9:+Y	0.001028341	0.056970931	50	1.0392E-08	5.77236E-07	50
15:C1:8:-Z	0.001905243	0.189049808	55	1.60439E-08	1.58304E-06	55
14:C1:8:+X	0.000350677	0.013919229	59	2.91549E-09	1.03195E-07	52
13:C1:8:+Y	0.004172256	0.208402152	51	4.313E-08	2.09705E-06	50
12:C1:7:+X	0.000211998	0.008949051	59	1.6799E-09	6.51198E-08	59
11:C1:7:-Z	0.00021663	0.008666943	58	1.76244E-09	6.52605E-08	58
10:C1:7:+Y	0.000860826	0.061618975	45	9.88858E-09	7.70779E-07	45
9:C1:6:-Z	0.000286994	0.02401892	54	2.63137E-09	2.08644E-07	54
8:C1:6:+X	0.000322309	0.010925761	40	4.44578E-09	1.7297E-07	40
7:C1:6:+Y	0.000342867	0.019638279	54	3.49808E-09	1.70591E-07	54
6:C1:2:-Z	0.024365558	2.128612213	55	2.06217E-07	1.78243E-05	55
5:C1:2:+X	0.000311819	0.011054701	40	4.43832E-09	1.75012E-07	40
4:C1:2:+Y	0.033010547	2.594284806	54	2.84391E-07	2.25357E-05	54
3:C1:5:-Z	0.001378584	0.137083186	55	1.16596E-08	1.14789E-06	55
2:C1:5:+X	0.000628965	0.028780679	59	4.7558E-09	2.09429E-07	59
1:C1:5:+Y	0.001156287	0.068455453	55	1.08452E-08	5.73222E-07	55
24:MotMaster:1:-Y	0.000520621	0.021243019	44	1.05565E-08	5.88369E-07	28
23:MotMaster:1:+Z	0.00254318	0.161702251	28	7.18493E-08	5.22445E-06	28

22:MotMaster:1:+X	0.005289604	0.22118991	29	1.13717E-07	6.66208E-06	29
21:MotRaccolta:1:+Y	0.001371584	0.084799262	28	3.80589E-08	2.73978E-06	28
20:MotRaccolta:1:-Z	0.003315208	0.154354524	41	5.66382E-08	2.3259E-06	41
19:MotRaccolta:1:+X	0.000295022	0.016000069	28	8.62975E-09	5.16947E-07	28
18:C1:28:-Z	0.001255531	0.097759173	59	1.82458E-08	1.50257E-06	35
17:C1:28:+X	0.000218296	0.008528607	44	3.06738E-09	1.11587E-07	44
16:C1:28:+Y	0.000793165	0.056397416	42	1.13951E-08	8.09843E-07	42
15:C1:35:+Y	0.006066591	0.292028688	56	4.7632E-08	2.35879E-06	56
14:C1:35:+Z	0.00163365	0.074731027	56	1.30153E-08	6.03622E-07	56
13:C1:35:-X	0.000199554	0.009267293	58	1.65415E-09	6.9781E-08	58
12:C1:32:+X	0.000378375	0.011216019	41	5.89265E-09	1.9019E-07	37
11:C1:32:+Y	7.07964E-05	0.001922051	52	9.51453E-10	2.19586E-08	31
10:C1:32:+Z	0.000196315	0.006624968	41	2.79782E-09	9.98289E-08	41
9:MotZetto:1:+Y	0.004145198	0.225783066	33	9.20763E-08	5.25175E-06	33
8:MotZetto:1:+X	0.000951002	0.051865093	33	2.11271E-08	1.20639E-06	33
7:MotZetto:1:+Z	0.001119325	0.033160989	59	1.63338E-08	5.55567E-07	33
6:C1:30:+Y	0.009521052	0.443190038	56	7.43335E-08	3.57976E-06	56
5:C1:30:-Z	0.002515132	0.111215694	57	1.96167E-08	8.67075E-07	57
4:C1:30:+X	0.000134703	0.006057384	58	1.19453E-09	4.5611E-08	58
3:C1:3:-Z	0.007065586	0.310981539	58	5.43004E-08	2.41407E-06	57
2:C1:3:+X	0.000264158	0.013326113	58	2.01645E-09	1.00343E-07	58
1:C1:3:+Y	0.019320547	0.977915702	56	1.51479E-07	7.89888E-06	56

Il punto 2 sulla campata 7 (Figura 1) in direzione Y e Z si caratterizza per l'accelerazione più alta in assoluto. La frequenza corrispondente alla componente massima di accelerazione è circa 55Hz e si verifica nell'istante in cui tale frequenza corrisponde a quella di rotazione della camma. L'ampiezza della componente oscillatoria alla frequenza critica si attesta attorno a 0.1mm.

Si riporta di seguito il diagramma Tempo Frequenza relativo alla componente Y dell'accelerazione nel punto in oggetto (Figura 2), dove vengono indicate anche le frequenze associate a tutti gli organi rotanti nell'istante corrispondente al picco di accelerazione: si può notare come l'unica componente significativa sia ascrivibile alla rotazione della camma.

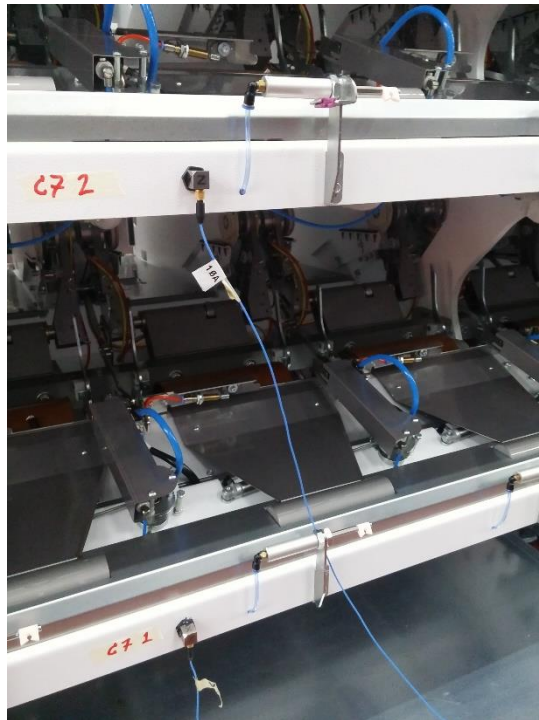


Figura 1. Punto C7:2

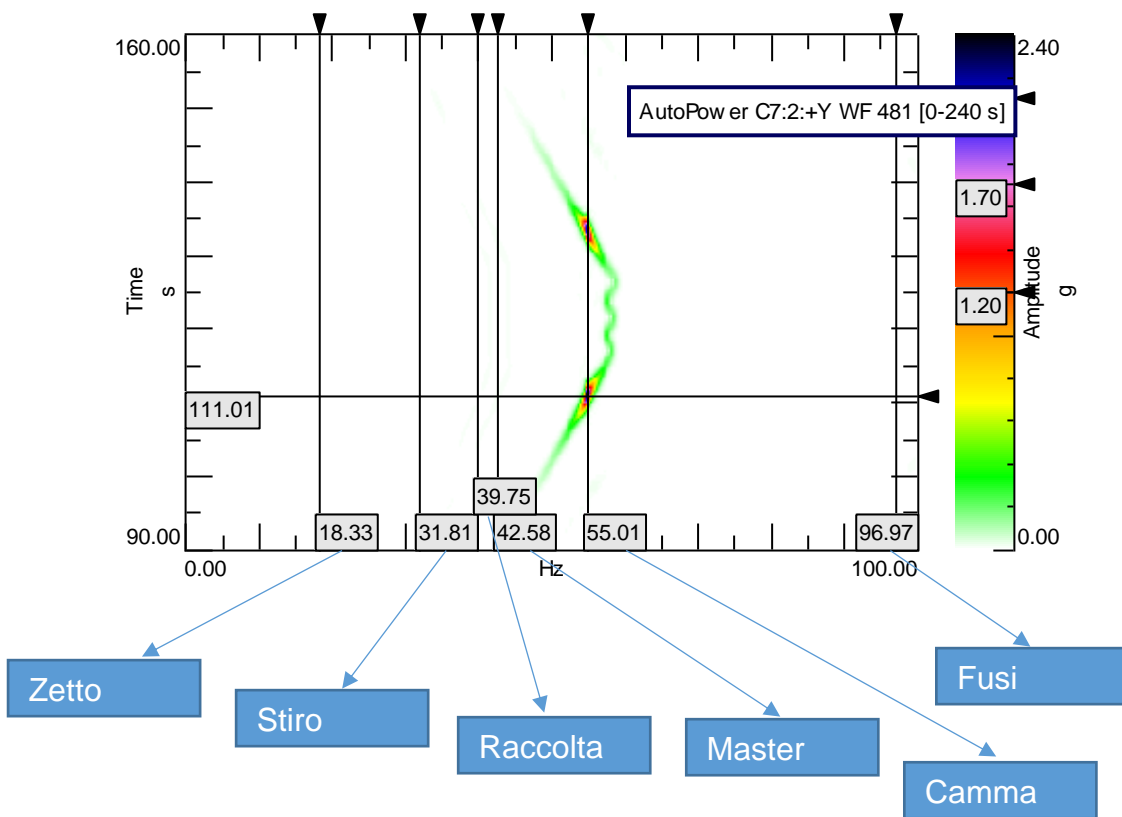


Figura 2. Tempo-Frequenza Punto C7:2 dir. Y

- Una seconda frequenza significativa si colloca a 58Hz e si evidenzia in corrispondenza del punto 3 della campata 1 (Figura 3) in direzione Y: tale punto è stato rilevato solo sulla campata 1, ovvero quella analizzata più nel dettaglio.

L'ampiezza di oscillazione corrispondente si attesta su circa 0.01mm. Ancora una volta la frequenza corrisponde a quella di rotazione della camma.

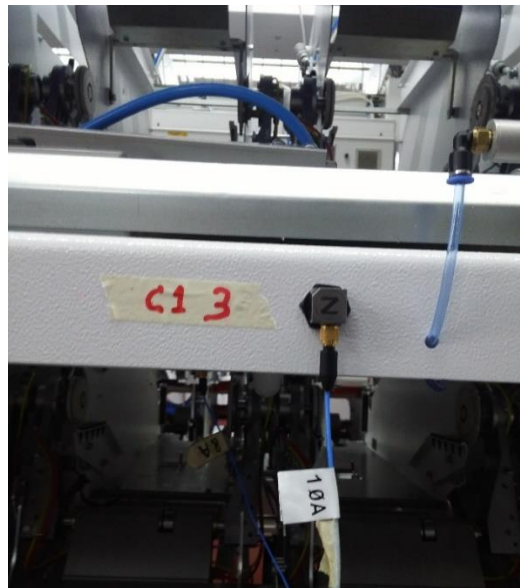


Figura 3. Punto C1:3

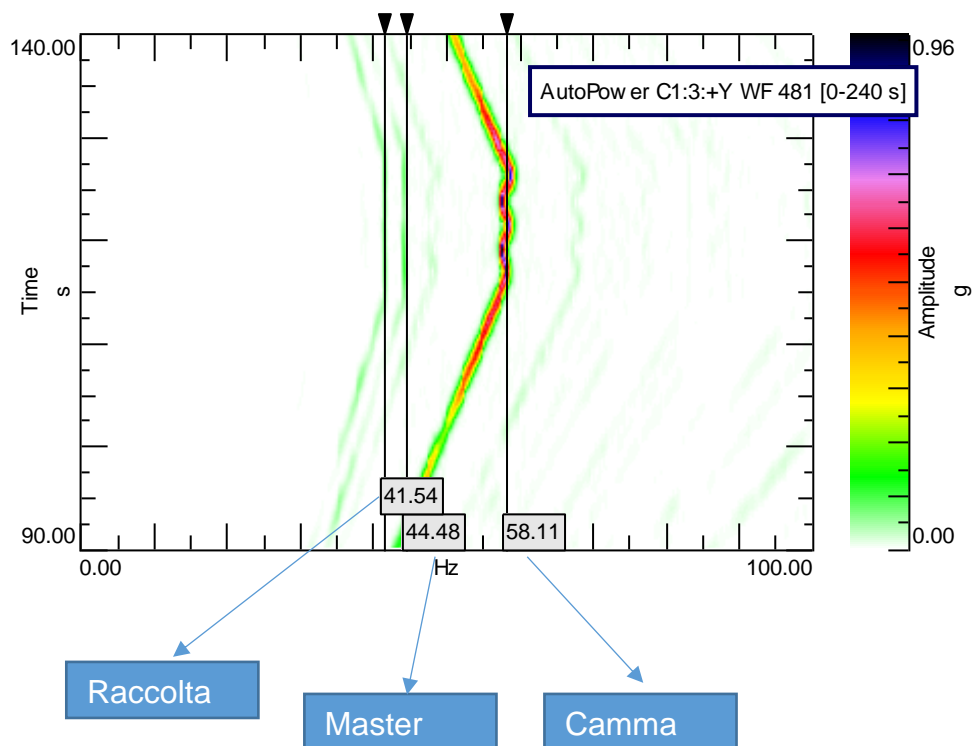


Figura 4. Tempo-Frequenza Punto C1:3 dir. Y

- Una terza frequenza significativa si colloca a 41.5Hz e si evidenzia in corrispondenza del punto 16 della campata 1 (Figura 3) in direzione Y: tale punto è stato rilevato solo sulla campata 1, ovvero quella analizzata più nel dettaglio.

L'ampiezza di oscillazione corrispondente si attesta su circa 0.005mm. Tale frequenza corrisponde a quella di rotazione dell'albero di raccolta.

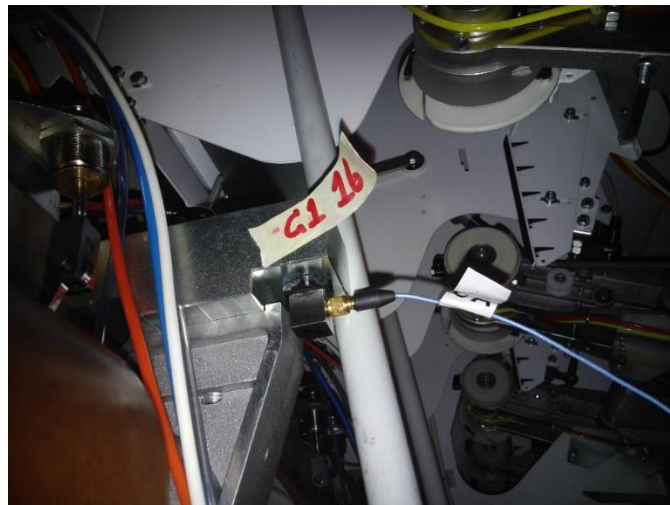


Figura 5. Punto C1:16

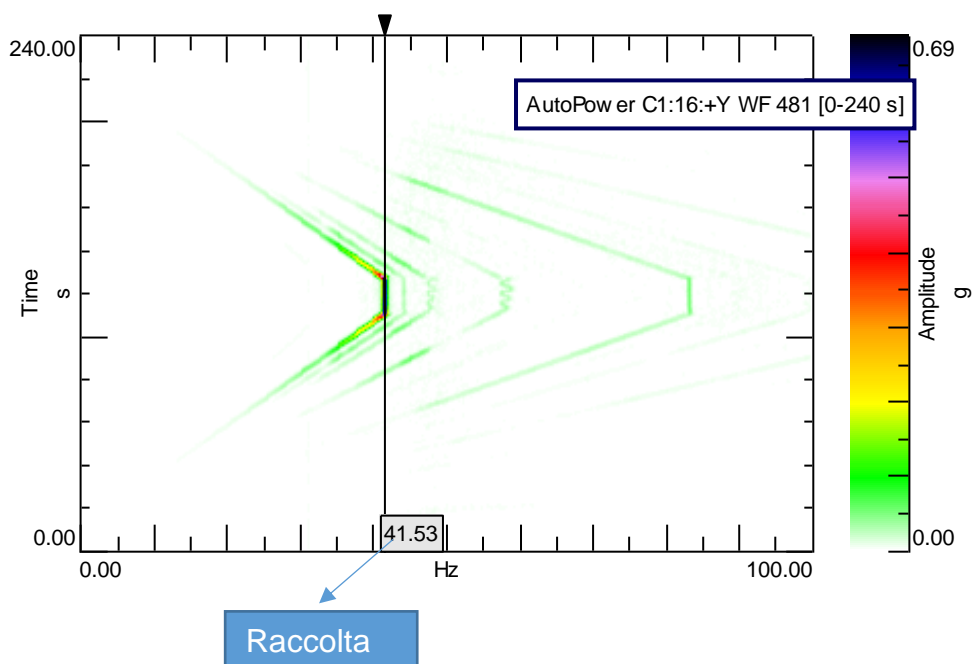


Figura 6. Tempo-Frequenza Punto C1:16 dir. Y

- L'ultima frequenza significativa si colloca attorno ai 35Hz ed è rilevabile al punto 20 (Figura 7) in direzione Y. Essa corrisponde ad una risonanza che viene eccitata dalle forzanti associate alla rotazione dell'albero Master e quello di Raccolta (vedere diagramma Tempo-Frequenza di
-
-
- Figura 8). L'ampiezza di oscillazione corrispondente si attesta su circa 0.016mm.

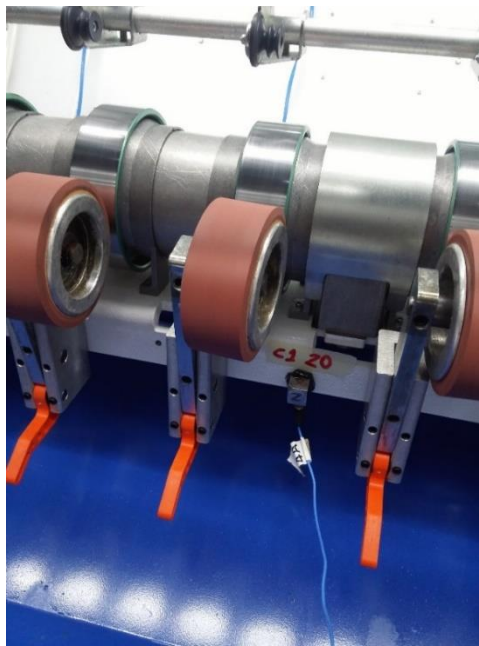


Figura 7. Punto C1:20

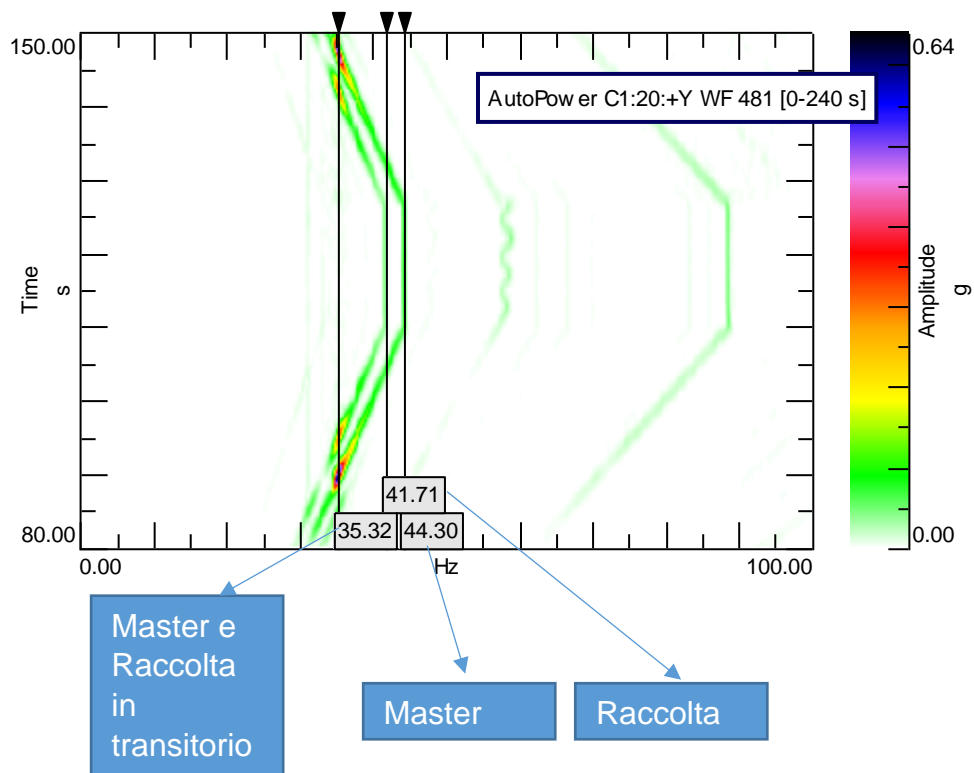
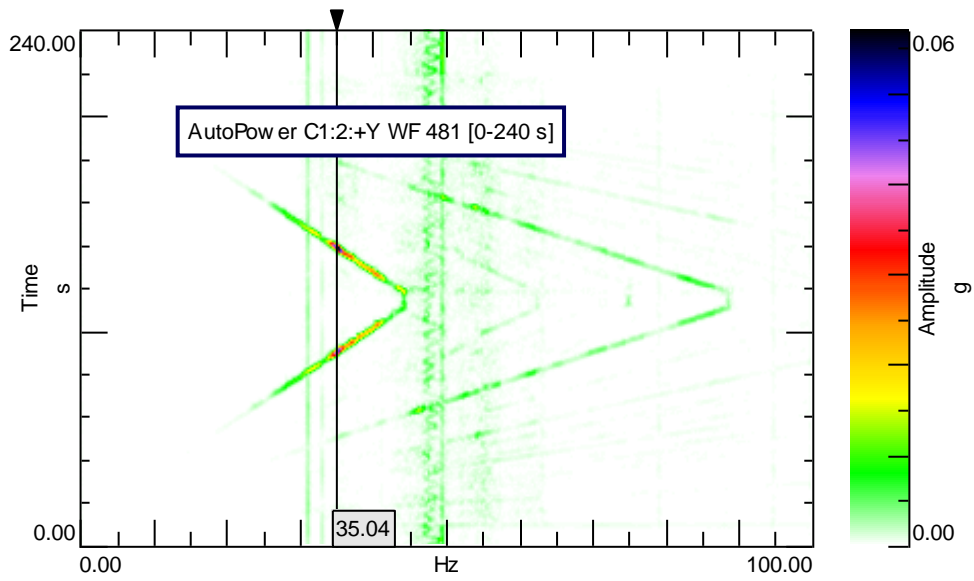


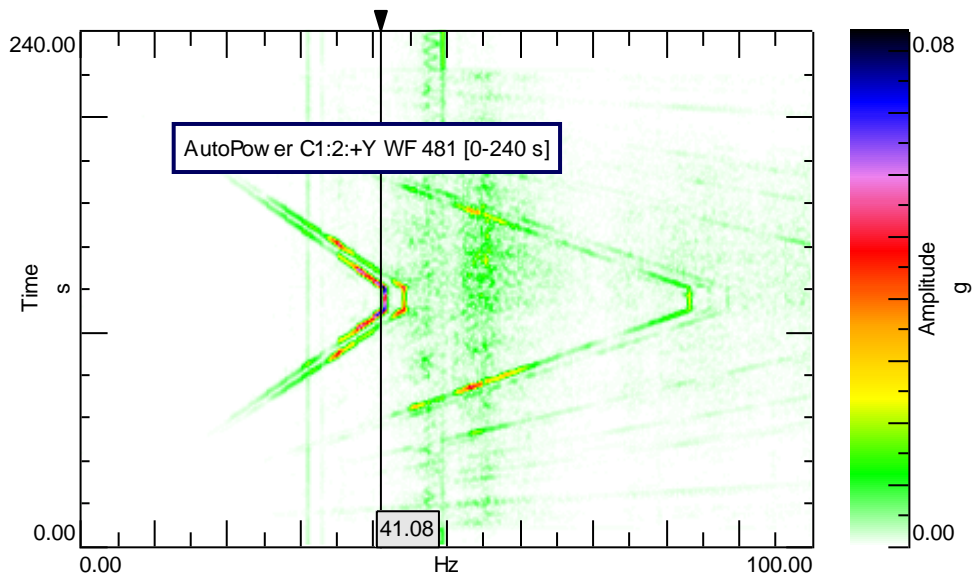
Figura 8. Tempo-Frequenza Punto C1:3 dir. Y

3.2 Prove con un albero alla volta

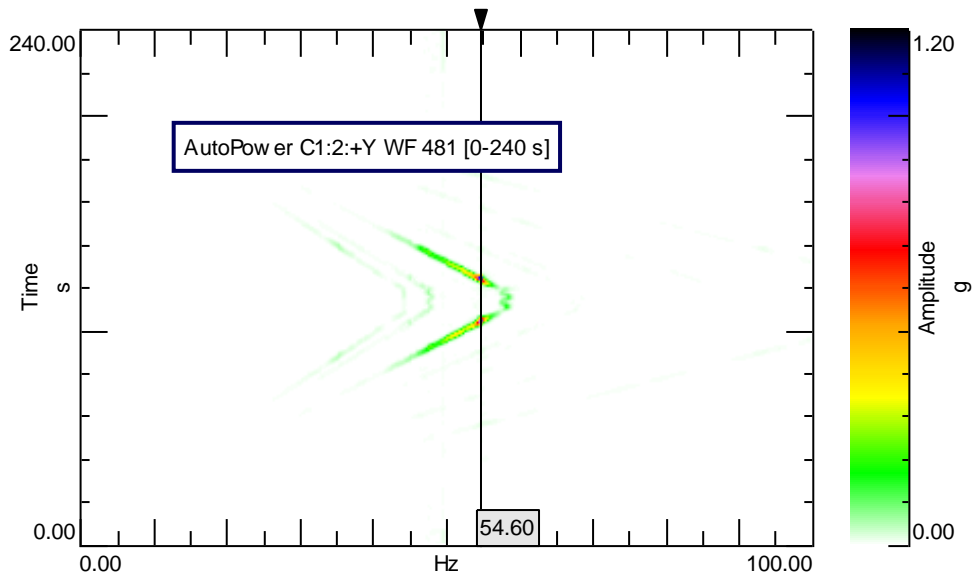
Solo Master



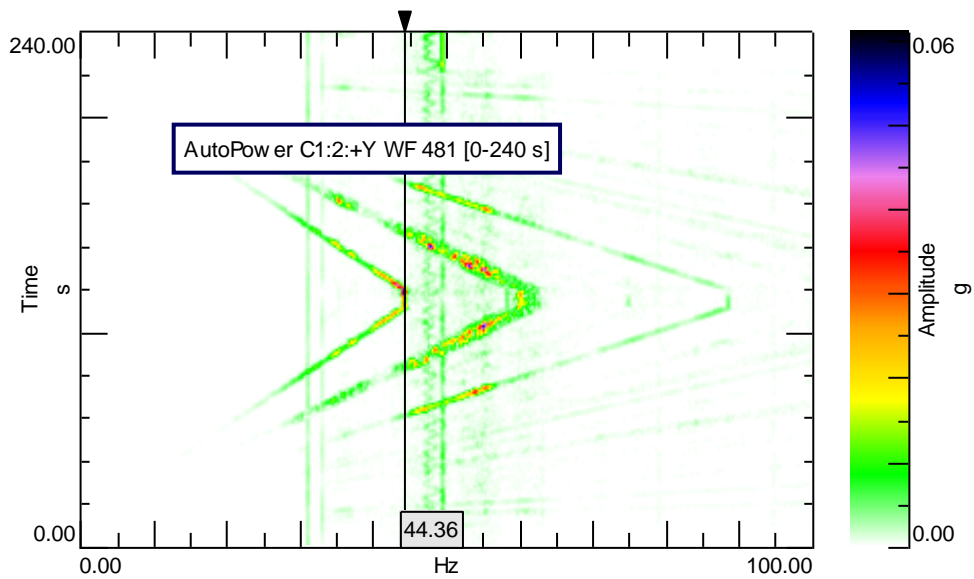
Master e Raccolta



Master e Zetto



Master e Rulli



Point Name	RMS Acc [m/s ²]	Max Acc [m/s ²]	Freq. of Max Acc [Hz]	RMS Displ [m]	Max Displ [m]	Freq. of Max Displ [Hz]
Solo Master						
24:C1:11:-Z	2.81556E-05	0.001925302	63	4.7104E-10	3.632E-08	35
23:C1:11:+X	1.59066E-06	7.7652E-05	28	4.2249E-11	2.509E-09	28

22:C1:11:+Y	8.51726E-06	0.000485703	83	6.0855E-11	2.35E-09	28
21:C1:1:-Z	2.34851E-05	0.000990591	35	3.7836E-10	2.048E-08	35
20:C1:1:+X	1.96682E-06	8.42855E-05	35	4.7611E-11	2.614E-09	28
19:C1:1:+Y	3.99955E-05	0.002004093	35	6.2703E-10	4.144E-08	35
18:C1:16:-Z	4.82686E-05	0.003124746	44	6.6618E-10	4.088E-08	44
17:C1:16:+X	7.48237E-06	0.000334319	29	1.5182E-10	1.007E-08	29
16:C1:16:+Y	0.000120404	0.005401406	35	2.1304E-09	1.117E-07	35
15:C1:5:-Z	1.45647E-05	0.001063444	35	2.9798E-10	2.199E-08	35
14:C1:5:+X	1.90187E-06	8.12504E-05	35	4.6769E-11	2.515E-09	28
13:C1:5:+Y	1.37332E-05	0.001025294	35	2.7443E-10	2.12E-08	35
12:C1:20:+X	0.000161772	0.008162775	36	2.8181E-09	1.595E-07	36
11:C1:20:-Z	0.000633932	0.06337273	35	1.2835E-08	1.31E-06	35
10:C1:20:+Y	0.007684886	0.783216712	35	1.5622E-07	1.62E-05	35
9:C1:12:-Z	1.48815E-05	0.001237221	63	1.787E-10	1.17E-08	35
8:C1:12:+Y	1.56052E-05	0.001143135	35	3.0578E-10	2.364E-08	35
7:C1:12:-X	1.91251E-06	9.09645E-05	28	4.9884E-11	2.939E-09	28
6:C1:2:-Z	1.73404E-05	0.00081604	42	2.7893E-10	1.345E-08	35
5:C1:2:+X	3.3359E-06	0.000194666	26	1.1831E-10	7.488E-09	25
4:C1:2:+Y	6.54665E-05	0.005152	35	1.3034E-09	1.065E-07	35
3:C1:8:-Z	1.32128E-05	0.000660176	42	1.9099E-10	9.48E-09	42
2:C1:8:+X	1.99074E-06	7.92997E-05	28	4.7527E-11	2.562E-09	28
1:C1:8:+Y	1.19135E-05	0.0005747	44	1.4227E-10	7.519E-09	44
Master e Raccolta						
24:C1:11:-Z	3.76715E-05	0.001941704	63	5.6507E-10	3.507E-08	35
23:C1:11:+X	2.47358E-05	0.001012941	41	4.4736E-10	1.847E-08	32
22:C1:11:+Y	4.1633E-05	0.002335143	99	3.8041E-10	1.439E-08	35
21:C1:1:-Z	0.000212611	0.020049084	55	2.2263E-09	1.679E-07	55
20:C1:1:+X	2.80236E-05	0.00106566	41	5.0275E-10	2.179E-08	32
19:C1:1:+Y	0.00021276	0.021812754	55	1.958E-09	1.827E-07	55
18:C1:16:-Z	0.006615403	0.245869256	42	9.8466E-08	3.705E-06	41
17:C1:16:+X	0.001056306	0.041895539	83	6.0226E-09	1.54E-07	83
16:C1:16:+Y	0.007383492	0.297272126	42	1.0844E-07	4.269E-06	42
15:C1:5:-Z	8.04671E-05	0.004027855	40	1.416E-09	6.56E-08	38
14:C1:5:+X	2.76133E-05	0.001079973	41	4.9644E-10	2.141E-08	32
13:C1:5:+Y	1.90194E-05	0.001021003	35	3.3647E-10	2.111E-08	35
12:C1:20:+X	0.000162355	0.00848939	36	2.8554E-09	1.659E-07	36

11:C1:20:-Z	0.000672741	0.068659891	35	1.362E-08	1.42E-06	35
10:C1:20:+Y	0.008099899	0.82937883	35	1.6463E-07	1.715E-05	35
9:C1:12:-Z	1.92454E-05	0.001188988	63	2.0814E-10	1.221E-08	35
8:C1:12:+Y	4.15207E-05	0.00190541	38	7.3385E-10	3.342E-08	38
7:C1:12:-X	3.08908E-05	0.001189258	41	5.3449E-10	2.174E-08	32
6:C1:2:-Z	8.31194E-05	0.003651945	40	1.2489E-09	5.782E-08	40
5:C1:2:+X	0.000217931	0.008340284	40	3.3472E-09	1.32E-07	40
4:C1:2:+Y	0.000203484	0.009193567	41	3.0719E-09	1.385E-07	41
3:C1:8:-Z	1.79746E-05	0.000815652	37	3.0703E-10	1.509E-08	37
2:C1:8:+X	2.74646E-05	0.001017693	41	4.9433E-10	2.181E-08	32
1:C1:8:+Y	2.28595E-05	0.000879099	44	2.7355E-10	1.15E-08	44
Master e Zetto						
24:C1:11:-Z	0.021144767	0.941486207	58	1.6582E-07	7.089E-06	58
23:C1:11:+X	9.44899E-05	0.003890971	58	8.7959E-10	2.93E-08	58
22:C1:11:+Y	0.000321657	0.016972661	58	2.4309E-09	1.278E-07	58
21:C1:1:-Z	0.082641701	7.534643195	55	6.9789E-07	6.309E-05	55
20:C1:1:+X	0.000614368	0.05650598	55	5.1689E-09	4.732E-07	55
19:C1:1:+Y	0.10579655	8.39195544	54	9.263E-07	7.29E-05	54
18:C1:16:-Z	0.000235757	0.009950582	58	2.1556E-09	7.493E-08	58
17:C1:16:+X	8.03454E-05	0.003205206	58	9.4827E-10	3.274E-08	9
16:C1:16:+Y	0.000200692	0.007092536	45	2.812E-09	1.101E-07	35
15:C1:5:-Z	0.001354249	0.126440829	55	1.1429E-08	1.059E-06	55
14:C1:5:+X	0.000305047	0.01575789	58	2.4454E-09	1.187E-07	58
13:C1:5:+Y	0.001161509	0.069185546	54	1.1265E-08	6.01E-07	54
12:C1:20:+X	0.00016011	0.008115709	36	2.8056E-09	1.586E-07	36
11:C1:20:-Z	0.000670712	0.066916889	35	1.3295E-08	1.384E-06	35
10:C1:20:+Y	0.007908039	0.822015376	35	1.6093E-07	1.7E-05	35
9:C1:12:-Z	0.015044959	0.695899382	58	1.1762E-07	5.24E-06	58
8:C1:12:+Y	0.004875386	0.214158889	56	3.8298E-08	1.73E-06	56
7:C1:12:-X	0.000227623	0.010817415	58	1.8182E-09	8.145E-08	58
6:C1:2:-Z	0.019104921	2.052978678	55	1.6064E-07	1.719E-05	55
5:C1:2:+X	0.000116322	0.004715552	58	1.152E-09	4.185E-08	9
4:C1:2:+Y	0.021526345	1.935501627	55	1.8353E-07	1.621E-05	55
3:C1:8:-Z	0.001841473	0.174100631	55	1.5554E-08	1.458E-06	55
2:C1:8:+X	0.000304958	0.012800802	51	2.7657E-09	1.247E-07	51
1:C1:8:+Y	0.003942095	0.199210504	51	4.1228E-08	1.969E-06	50

Master e Rulli						
24:C1:11:-Z	1.77253E-05	0.000984619	63	1.8409E-10	8.23E-09	35
23:C1:11:+X	1.99261E-06	7.67889E-05	29	6.5338E-11	3.319E-09	21
22:C1:11:+Y	4.03342E-06	0.000198869	87	3.0943E-11	1.359E-09	44
21:C1:1:-Z	0.000294022	0.03770952	55	2.4708E-09	3.158E-07	55
20:C1:1:+X	2.88423E-06	0.000154845	55	7.2281E-11	3.658E-09	21
19:C1:1:+Y	0.000314355	0.038552051	55	2.7708E-09	3.228E-07	55
18:C1:16:-Z	7.56268E-05	0.00435665	44	1.0038E-09	5.7E-08	44
17:C1:16:+X	1.24976E-05	0.000602576	44	2.2308E-10	9.251E-09	21
16:C1:16:+Y	4.93857E-05	0.00205107	37	7.9572E-10	3.795E-08	37
15:C1:5:-Z	7.74708E-06	0.000668214	55	9.4001E-11	5.595E-09	55
14:C1:5:+X	2.6556E-06	0.000107716	43	7.1743E-11	3.647E-09	21
13:C1:5:+Y	8.70546E-06	0.000499118	48	1.1505E-10	5.487E-09	48
12:C1:20:+X	0.000173454	0.006082166	42	2.5294E-09	8.734E-08	42
11:C1:20:-Z	0.000494465	0.029649974	35	8.2626E-09	6.131E-07	35
10:C1:20:+Y	0.005109815	0.382037159	35	1.0324E-07	7.9E-06	35
9:C1:12:-Z	1.38128E-05	0.000668147	63	1.492E-10	6.07E-09	44
8:C1:12:+Y	5.88292E-06	0.000299517	60	7.6976E-11	3.925E-09	35
7:C1:12:-X	2.33015E-06	9.22226E-05	29	7.4557E-11	3.673E-09	21
6:C1:2:-Z	9.50632E-05	0.00930671	55	7.9118E-10	7.793E-08	55
5:C1:2:+X	4.29156E-06	0.000181315	21	1.8242E-10	1.041E-08	21
4:C1:2:+Y	0.000111047	0.00704056	48	1.1884E-09	7.74E-08	48
3:C1:8:-Z	1.51698E-05	0.000796887	55	1.9897E-10	8.114E-09	44
2:C1:8:+X	2.64069E-06	0.000102105	43	7.1663E-11	3.612E-09	21
1:C1:8:+Y	1.96193E-05	0.000922719	48	2.3829E-10	1.152E-08	44

Si nota un drastico aumento del livello massimo di accelerazione durante il funzionamento dello zetto per quanto riguarda i punti 1 e 2 (posti in testa alla “mensola”), alla frequenza di 55Hz. Tale componente è sostanzialmente trascurabile quando lo zetto è fermo.

Si rileva una componente non trascurabile di accelerazione a 35Hz in corrispondenza del punto 20 (Figura 9) associata alla rotazione dell’albero master, che quindi si ripropone in tutte le acquisizioni.

Un’altra componente minore emerge a 42Hz in corrispondenza del punto 16, associata alla rotazione dell’albero di raccolta (Figura 9).

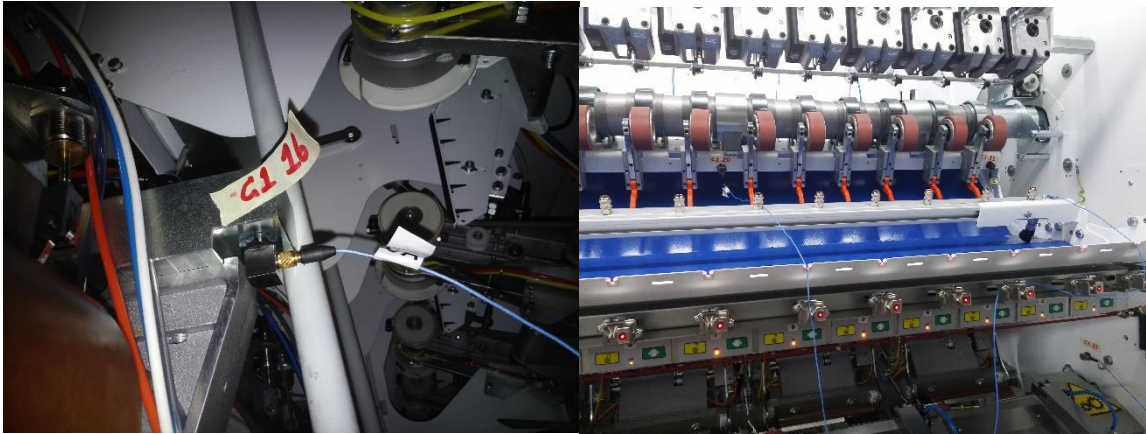


Figura 9. Posizione dei punti 16 e 20

3.3 Distribuzione energia vibrazionale

Al fine di individuare quale punto della campata è più soggetto a vibrazione, è stato calcolato il valore RMS del modulo dell'accelerazione in ciascun punto ed ordinato in senso decrescente nella tabella sottostante (Tabella 1).

Point Name	RMS Acc [m/s ²]
22:C7:2	0.187188873
1:C1:1	0.142112929
13:C3:2	0.097774292
7:C2:2	0.055918461
10:C5:1	0.042829802
19:C7:1	0.042462366
4:C1:2	0.041030158
13:C6:2	0.040605794
22:C4:2	0.04020308
4:C1:2	0.038210526
7:C1:3	0.032351311
4:C1:2	0.030521832
1:C1:3	0.02907732
16:C3:1	0.027478926
22:C1:11	0.027079746
19:C4:1	0.026975023
7:C5:2	0.026955971
4:C1:2	0.02490011
4:C1:2	0.022621341

16:C6:1	0.021472876
1:C1:3	0.020573668
4:C1:2	0.0172102
22:C1:12	0.013917783
16:C1:16	0.013577754
16:C1:4	0.011090102
4:C1:30	0.009848577
10:C1:20	0.008206321
19:C1:17	0.006866457
10:C2:1	0.006564691
13:C1:35	0.00628587
22:MotMaster:1	0.00589226
13:C1:8	0.00460007
7:MotZetto:1	0.004397722
19:MotRaccolta:1	0.003599845
13:C1:13	0.002854371
19:C1:14	0.001925079
1:C1:5	0.001906067
19:C1:10	0.001705684
16:C1:28	0.001501041
22:C1:15	0.001158647
16:C1:9	0.001149085
10:C1:7	0.00091263
7:C1:6	0.000551186
1:C1:18	0.000495267
10:C1:32	0.000432111
13:C1:23	0.000202713
10:C1:19	0.000145907
1:C1:21	0.000141427
7:C1:22	9.24483E-05
19:C1:26	3.51589E-05
7:C1:24	1.23569E-05
22:C1:27	3.23767E-07
1:C1:25	9.35498E-08

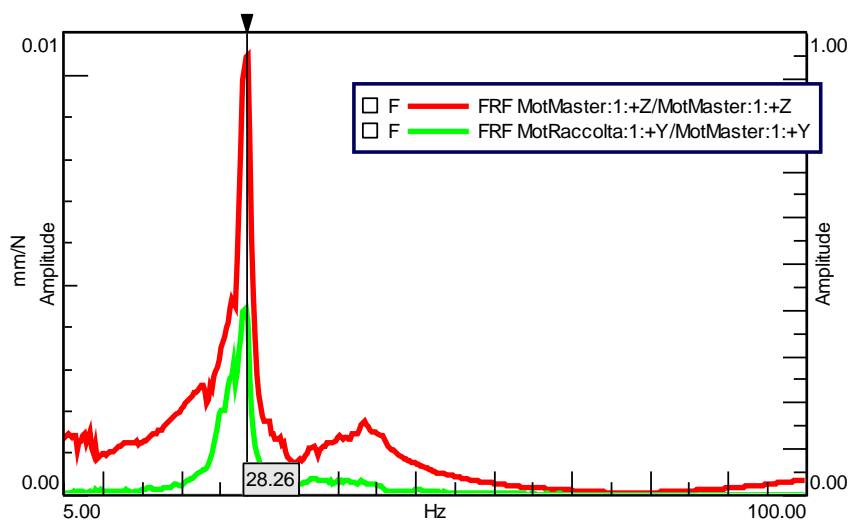
Tabella 1. RMS del modulo dell'accelerazione in ciascun punto di misura

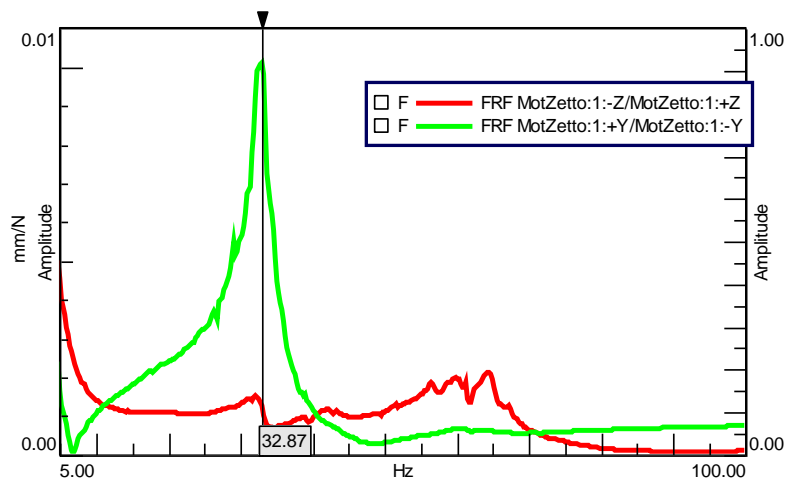
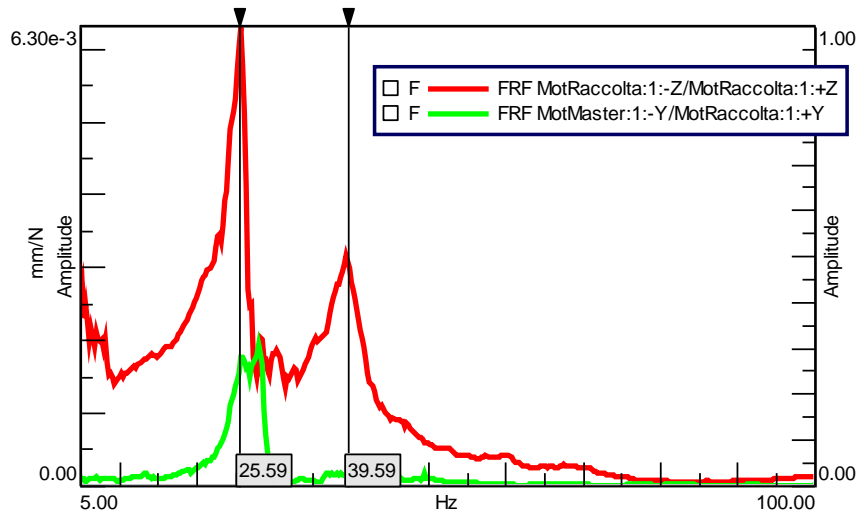
Si rileva come i punti caratterizzati da maggiore vibrazione sono quelli corrispondenti al bordo esterno delle “mensole” di supporto 1, 2 e 3 (vedere Figura 10 per un esempio).



Figura 10. Esempio di punti caratterizzati da maggiore vibrazione

4. Analisi risonanze strutturali dei motori





Le frequenze associate alla flessione dei supporti motore di Master, Raccolta e Zetto non corrispondono a quelle che emergono dall'analisi dello spettro delle vibrazioni in funzionamento. Pertanto, la loro dinamica sembra essere ininfluyente.

5. Analisi modale della struttura campata 1

Al fine di valutare numericamente l'ampiezza vibratoria associata al modo critico 55Hz, si riportano le FRF con ingresso di forza al punto 2 (mensola mediana) in direzione Z e le uscite in direzione Y sia nel punto 1 (mensola bassa al centro), che nel punto 6 (mensola mediana, vicino al supporto). Si può notare un picco molto importante in corrispondenza dei 55Hz, che risulta essere molto più elevato in posizione centrale (punto 1) che vicino ai supporti (punto 6). Ne consegue che il modo in questione è associato alla flessione del profilato della mensola, a cui si aggiunge probabilmente uno "svergolamento/spanciamento" della zona centrale mensola.

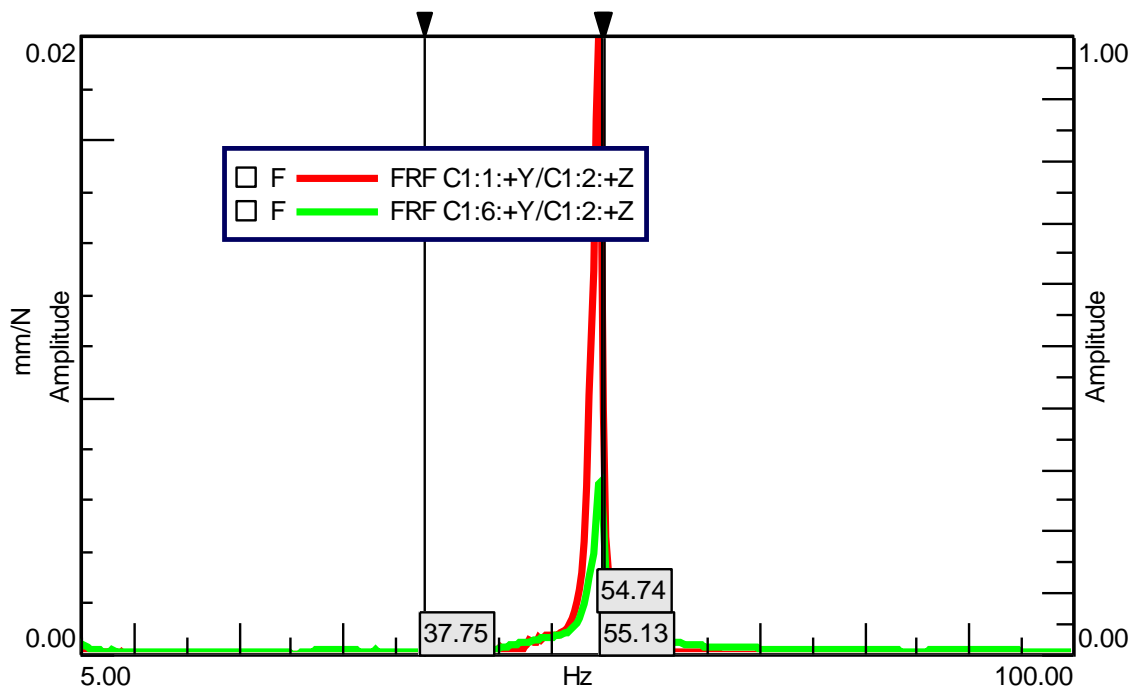


Figura 11. FRF incrociata mensola-mensola in 2 punti

Alla frequenza critica di 55Hz, i punti 35 e 30 (supporti cuscinetto) e 29 (camma) si muovono solidalmente: a questa frequenza l'o-ring del cuscinetto non disaccoppia la dinamica dell'albero da quella dei supporti, non svolgendo la sua funzione di "sospensione".

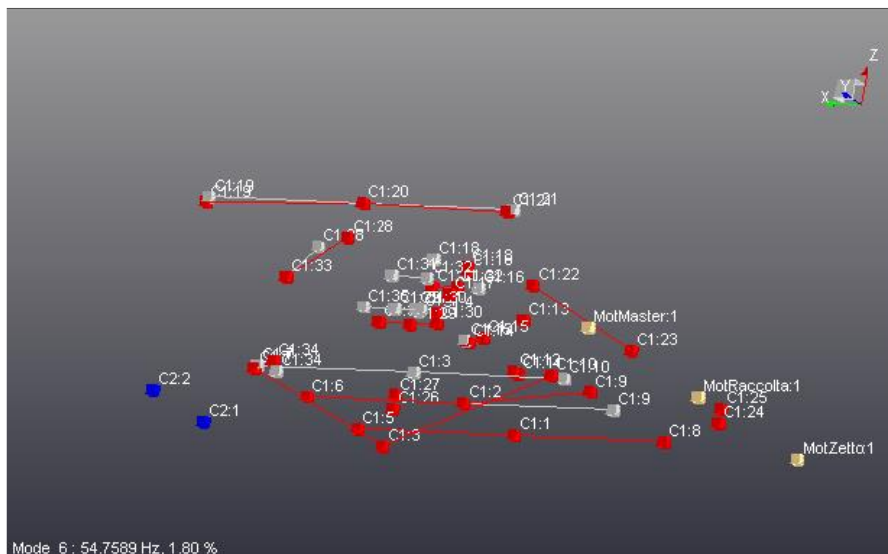


Figura 12. Modo a 55Hz – forma modale

Il modo a circa 42Hz coinvolge i punti 31, 32 e 18 ed è associato ad un cedimento dell'albero di raccolta, compreso il suo cuscinetto (punto 32).

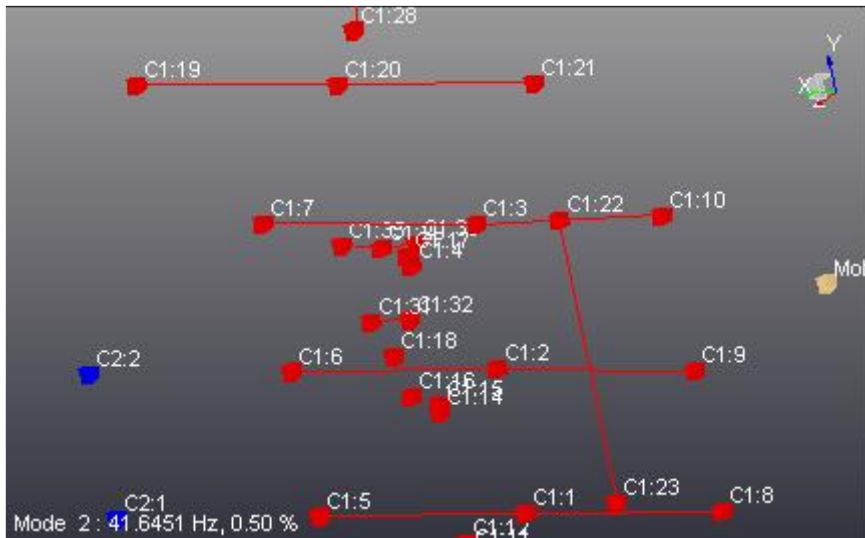


Figura 13. Modo a 42Hz – cedimento raccolta



Figura 14. Punto 18 sul lato inferiore del blocco supporto cuscinetto albero di raccolta

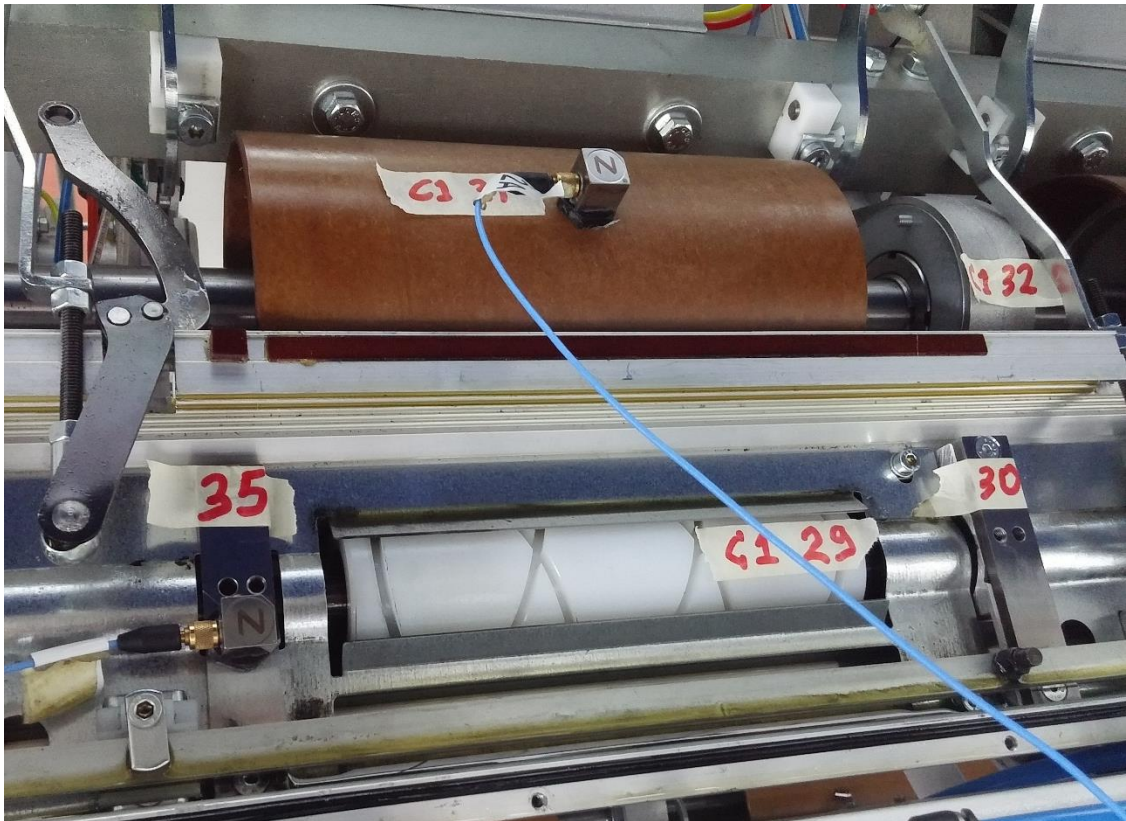


Figura 15. Punti 31 e 32 sulla raccolta, 35, 29 e 30 sull'albero dello zetto

Il modo a 58Hz coinvolge la “mensola” alta e lo zetto.

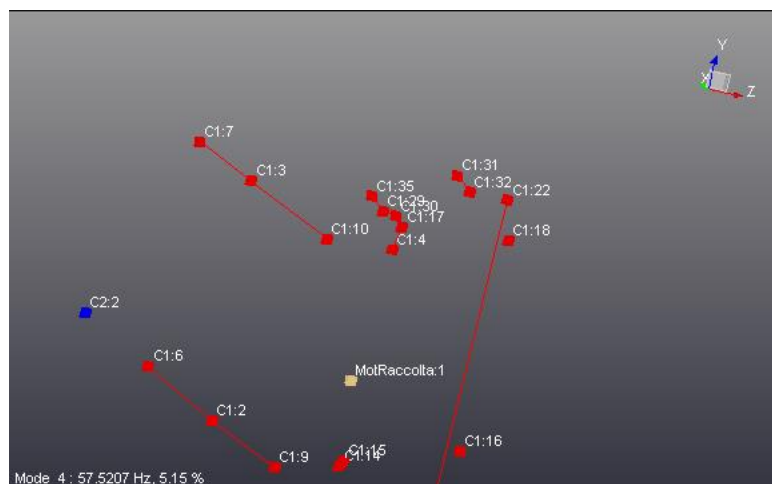


Figura 16. Modo a 58Hz – mensola alta e zetto

Il modo a 35Hz coinvolge albero master e raccolta.

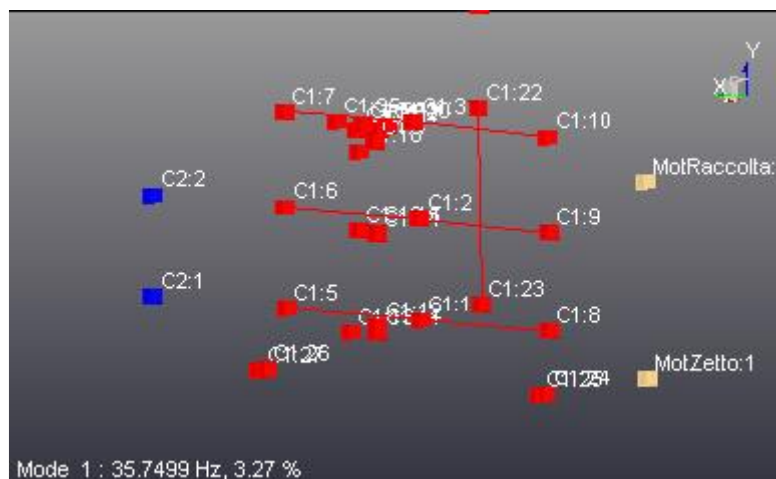


Figura 17. Modo a 35.75Hz – mensola alta e zetto

Al fine di valutare il possibile effetto sul modo critico a circa 55Hz di un'azione di modifica a livello di piedini, si riporta l'FRF incrociata che ha per ingresso l'eccitazione al punto 2 +Z e l'uscita al punto 26 (in cima al piedino) in direzione Z. Si nota come, seppur con ampiezza minima, la componente a 55Hz è vista anche dal piedino, che, quindi, potrebbe avere effetto sul modo. Tuttavia, osservando lo spostamento del piedino nell'animazione di Figura 19, si vede come quest'ultimo, in rapporto con lo spostamento degli altri punti, è sostanzialmente trascurabile. Quindi, la possibilità di smorzare il modo agendo con un elastomero in questa posizione risulta pressoché nulla.

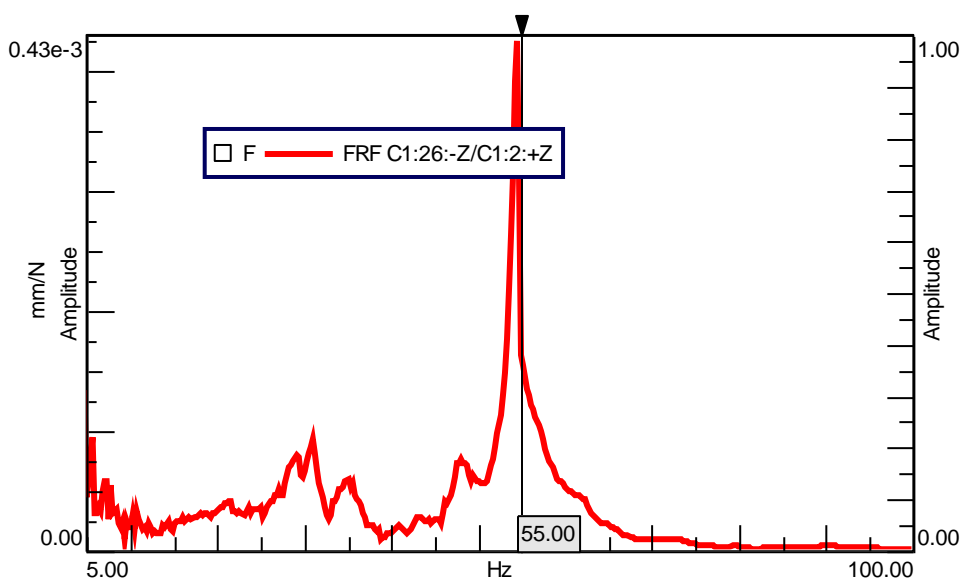


Figura 18. FRF mensola - piedino

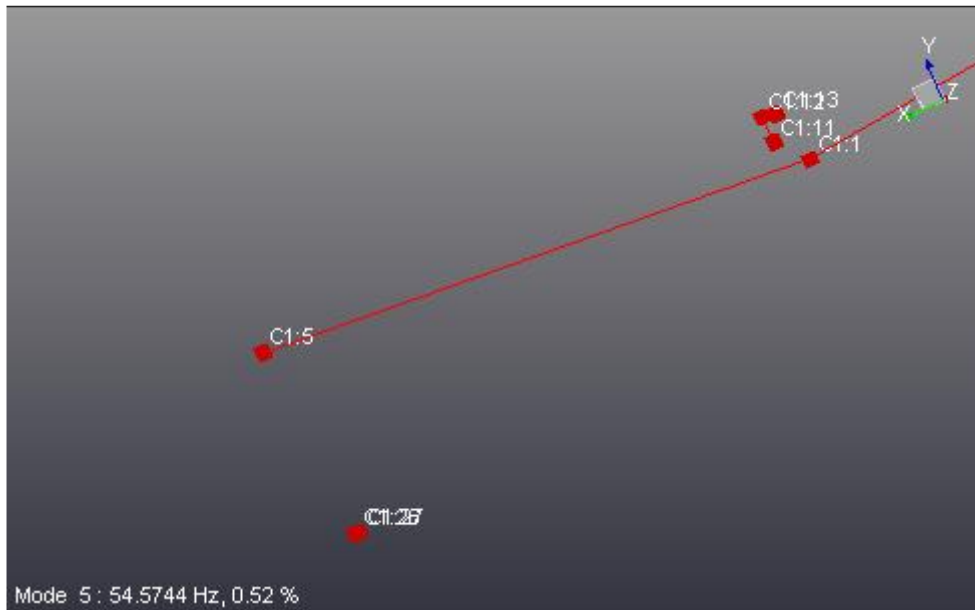


Figura 19. Modo di vibrare a 55Hz (focus sull'accelerometro al piedino, n.26)