

Abstract della Sessione Tecnica: Il Paradigma Strutturale Attivo nel Progetto HYDRO-LINK PRIULA

Dalla Formulazione Assiomatica alla Sintesi su Silicio del Controllore
RCMC-H5G

Ing. Antonio Triassi

Abstract

La salvaguardia delle infrastrutture idrauliche critiche immerse in regimi idrodinamici altamente turbolenti richiede il superamento dei tradizionali approcci di difesa puramente passiva basati sull'aumento di massa strutturale. Il progetto d'avanguardia *HYDRO-LINK PRIULA* risponde a questa esigenza introducendo il concetto di struttura intelligente e attiva, in cui un condotto in materiali compositi in fibra di basalto (BFRP) viene monitorato in tempo reale da sensori a fibra ottica (FOS) e stabilizzato mediante il controllore morfonico RCMC-H5G.

Questa memoria presenta una trattazione sinergica e interdisciplinare strutturata in due contributi complementari, mirati a connettere l'astrazione dei sistemi complessi con il rigore dell'elettronica digitale mission-critical:

1. **Il Modello Assiomatico e la Decomposizione Spettrale:** Viene illustrata la formulazione olistica globale definita nello spazio di stato a cinque dimensioni ($\mathbb{R}^5$) — che mappa pressione, portata, vibrazioni, strain e bilanci energetici — e la sua successiva proiezione ortogonale sul sottospazio critico bidimensionale ($\mathbb{R}^2$) focalizzato sulle instabilità flessionali. Sfruttando le proprietà di perfetta antisimmetria del commutatore di matrice, l'energia cinetica perturbativa del fluido viene confinata entro orbite rotazionali chiuse e intrinsecamente stabili nello spazio delle fasi $SO(2)$ attraverso autovalori puramente immaginari ($\lambda_{1,2} = \pm 840i$), evitando modelli di controllo statistici o probabilistici.
2. **La “Fisicizzazione” del Software e la Sintesi Hardware su FPGA:** Viene analizzata l'ingegnerizzazione digitale del kernel di controllo per eliminare i tempi di risposta non deterministici (*jitter*) tipici delle CPU sequenziali, i quali introdurrebbero sfasamenti distruttivi nel loop retroazionato. L'algoritmo viene interamente “fisicizzato” e tradotto sul silicio in una rete combinatoria fissa operante in virgola fissa con codifica in complemento a due (Q16.16). L'integrazione di una pipeline CORDIC a livello sub-nanometrico e di un filtro attivo di *Jitter Compensation* assicura la robustezza del sistema secondo il criterio di stabilità di Lyapunov e, offrendo un regime di oversampling assoluto rispetto alle costanti di tempo dei trasduttori piezoelettrici ($\approx 1.5 \mu s$), consente di soddisfare rigorosamente i requisiti di sicurezza strutturale e durabilità definiti dal Capitolo 6 delle NTC 2018 e dalle linee guida CNR-DT 200/2013.

Il lavoro nel suo complesso dimostra come la transizione deterministica dai vincoli assiomatici di alto livello alla logica hardware programmabile costituisca un benchmark robusto, innovativo e immediatamente applicabile per la resilienza e l'estensione della vita utile delle grandi opere civili.