

Assegno di ricerca sul tema “Algorithms for Large Scale Vehicle Routing Problems”

Responsabile scientifico Prof. Daniele Vigo

Progetto di Ricerca

Il Vehicle Routing Problem (VRP) è lo strumento di ottimizzazione principale nella logistica e nei trasporti. A causa della sua rilevanza pratica e della sua famigerata difficoltà, negli ultimi cinquant'anni il VRP si è rivelato essere uno dei problemi di ottimizzazione combinatoria più studiati, e letteralmente centinaia di algoritmi di ottimizzazione euristica sono stati proposti per la soluzione del VRP e delle sue numerose varianti (vedi Toth e Vigo, [8, 10]). L'applicazione di tali approcci in contesti del mondo reale altamente esigenti, come quelli della logistica intermodale per la distribuzione delle merci o quelli nelle operazioni militari, richiedono un'efficienza computazionale molto elevata dei metodi di soluzione per far fronte alla reattività alla domanda e ai vincoli di tempi di esecuzione stretti.

Questo progetto si inserisce nel programma di ricerca previsto dai finanziamenti ricevuti da AFOSR "Acceleration Techniques for Vehicle Routing Heuristics" (Grant FA9550-17-1-0234) ed in particolare del recente progetto "Efficient Solution of Large scale Vehicle Routing Problems" (Grant FA8655-21-1-7046). Il progetto "Acceleration Techniques for Vehicle Routing Heuristics" mira a sviluppare tecniche di accelerazione efficienti, efficaci e facili da implementare per il VRP che hanno un enorme impatto sullo stato dell'arte per tale famiglia di problemi e per le applicazioni del mondo reale ad essa correlate. I risultati scientifici del primo progetto sono stati perfettamente in linea con gli obiettivi e hanno portato ad almeno sette pubblicazioni su riviste scientifiche di alta qualità (vedi [1,2,3,4,5,6,7]). In particolare, il principale risultato del progetto è stato lo sviluppo di FILO (vedi Accorsi e Vigo [2]) un'euristica veloce e scalabile per CVRP che incorpora implementazioni efficienti di quartieri granulari combinati (vedi Toth e Vigo [9]) e descrittori di spostamento statico (vedi Zachariadis e Kiranoudis [11]).

Obiettivi

Questo progetto ha lo scopo di consolidare ed espandere i risultati del Grant FA9550-17-1-0234 considerando le varianti rilevanti del VRP che sono più vicine ai requisiti logistici pratici e migliorando ulteriormente l'efficienza dell'approccio FILO attraverso l'ibridazione delle tecnologie di apprendimento automatico e del calcolo distribuito. In particolare, gli obiettivi principali della nostra proposta sono:

1. Estendere le tecniche di accelerazione già applicate con successo al CVRP ad altre varianti più vincolate che hanno maggiore rilevanza pratica, ad esempio il VRP con Time Windows (VRPTW), il VRP con Pickups and Deliveries (VRPPD) e il VRP con flotta eterogenea (HVRP).
2. Esplora l'applicazione delle tecniche di apprendimento automatico per migliorare ulteriormente le prestazioni degli attuali algoritmi all'avanguardia.
3. Sviluppare nuovi schemi paralleli efficaci per affrontare istanze su larga scala.

Sintesi dell'approccio di lavoro previsto

Le tecniche di accelerazione, come *Granular Neighborhoods* (GN, vedi Toth e Vigo, [9]) e *Static Move Descriptors* (SMD, vedi Zachariadis e Kiranoudis [11]), sono già state studiate e applicate con successo al CVRP, portando allo sviluppo di un'euristica iterata di ricerca locale iterata

all'avanguardia chiamata FILO (vedi Accorsi e Vigo, [2]) in grado di affrontare efficacemente istanze di dimensioni molto grandi con un massimo di 30.000 vertici. Dati i promettenti risultati ottenuti sul CVRP, una naturale prosecuzione di questa ricerca è l'applicazione di un paradigma simile ad altre importanti varianti della famiglia VRP, come il già citato VRPTW, il VRPPD e l'HVRP che, sebbene più difficili, sono anche di maggiore rilevanza pratica nelle applicazioni del mondo reale. L'estensione degli SMD per eseguire in modo efficiente le procedure di ricerca locale su tali varianti sarebbe una direzione di ricerca estremamente interessante ma impegnativa (e per quanto ne sarà a nostra conoscenza, ancora inesplorata) che potenzialmente cede a miglioramenti significativi degli algoritmi esistenti, che a causa della complessità del problema tendono a utilizzare semplici operatori di ricerca locali o nessuno.

Una diversa linea di ricerca studierà come l'integrazione delle tecniche di Machine Learning possa supportare e guidare un algoritmo di ottimizzazione all'avanguardia in modo efficace ma efficiente. A questo proposito, il progetto analizzerà se e come i modelli predittivi possano essere incorporati nel nucleo di ottimizzazione dell'algoritmo in modo da sfruttare con successo le conoscenze provenienti da esecuzioni precedenti invece di scelte meno informate che di solito vengono prese per mezzo della casualità. Inoltre, modelli simili possono poi essere impiegati per inizializzare meglio i parametri (o iper-parametri) degli algoritmi di ottimizzazione in modo da farli convergere più velocemente verso soluzioni di buona qualità.

Infine, seguendo l'andamento mondiale della tecnologia che vede un'adozione in costante crescita di architetture di calcolo parallelo, per questa classe di problemi verranno studiati schemi fortemente parallelizzabili con l'obiettivo di progettare approcci di ottimizzazione altamente scalabili.

Piano di lavoro

Fase 1: Dicembre 2021-Gennaio 2022, analisi della letteratura ed individuazione dei problemi e degli approcci risolutivi da impiegare

Fase 2: Febbraio 2022-Settembre 2022, implementazione degli approcci risolutivi

Fase 3: Ottobre 2022-Novembre 2022, validazione computazionale degli approcci risolutivi

Bibliografia

- [1] L. Accorsi, D. Vigo, A Fast Metaheuristic Algorithm for the General Single Truck and Trailer Routing Problem, *Transportation Science*, volume 54, issue 5, pages 1351-1371, 2020.
- [2] L. Accorsi and D. Vigo. A Fast and Scalable Heuristic for the Solution of Large-Scale Capacitated Vehicle Routing Problem. Research Report DEI-OR-2020-2, under revision for *Transportation Science*, 2020.
- [3] Baller, S. Dabia, W. Dullaert, D. Vigo. The Vehicle Routing Problem with Partial Outsourcing. *Transportation Science*, volume 54, issue 4, pages 1034-1052, 2020.
- [4] O. Beek, B. Raa, W. Dullaert, D. Vigo, An Efficient Implementation of a Static Move Descriptor-based Local Search Heuristic. *Computers & Operations Research*, volume 94, pages 1-10, 2018.
- [5] A. Bettinelli, V. Cacchiani, T. G. Crainic, D. Vigo, A Branch-and-Cut-and-Price algorithm for the Multi-trip Separate Pickup and Delivery Problem with Time Windows at Customers and Facilities, *European Journal of Operational Research*, volume 279, issue 3, pages 824-839, 2019.
- [6] S. Dabia, D. Lai, D. Vigo. An Exact Algorithm for a Rich Vehicle Routing Problem with

- Private Fleet and Common Carrier. *Transportation Science*, volume 53, issue 4, pages 986-1000, 2019.
- [7] C. Orlics, D. Laganá, W. Dullaert, D. Vigo. Distribution with Quality of Service Considerations: The Capacitated Routing Problem with Profits and Service Level Requirements. *Omega*, volume 93, 2020.
 - [8] P. Toth and D. Vigo (editors). *The Vehicle Routing Problem*. Monographs on Discrete Mathematics and Applications. S.I.A.M., Philadelphia, PA, 2002.
 - [9] P. Toth and D. Vigo. The granular tabu search (and its application to the vehicle routing problem). *INFORMS Journal on Computing*, 15(4):333–346, 2003.
 - [10] P. Toth and D. Vigo (editors). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*, volume 18 of MOS-SIAM Series on Optimization. SIAM, Philadelphia, PA, second edition, 2014.
 - [11] E.E. Zachariadis, and C.T. Kiranoudis. A strategy for reducing the computational complexity of local search-based methods for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 37, 2089–2105, 2010.