

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
Allegati al Verbale n. 8 del 06/12/2018

n.19 allegati suddivisi e numerati per ogni rispettivo punto del seguente Ordine del Giorno:

ORDINE DEL GIORNO

1. Approvazione verbali;
2. Comunicazioni del presidente;
3. Convenzioni, contratti e progetti di ricerca;
4. Richiesta di contratti di lavoro autonomo;
5. Richiesta assegni di ricerca e borse di studio e di ricerca finanziati dal D.I.;
6. Approvazione relazioni annuali assegnisti di ricerca;
7. Autorizzazioni di spesa;
8. Ratifica decreti;
9. Varie ed eventuali.

Riservato ai Professori di Prima e Seconda Fascia, Ricercatori Universitari e Rappresentanti degli Studenti

10. Programmazione didattica;
11. Varie ed eventuali.

Riservato ai Professori di Prima e Seconda Fascia, Ricercatori Universitari

12. Varie ed eventuali.

Riservato ai Professori di Prima e Seconda Fascia, Ricercatori Universitari a tempo indeterminato

12bis) Verifica periodica dell'attività didattica e scientifica dei ricercatori universitari – adempimenti previsti dall'art. 33 del D.P.R. 382/80

13. Valutazione ai fini dell'attribuzione dell'importo una tantum ex art. 1, c. 629, L. 205/2017, D.M. 197/2018 e Regolamento di Ateneo emanato con D.R. 1706/2018 – ricercatori
14. Procedura di valutazione A.A. 2016/2017 e A.A. 2017/2018 per l'attribuzione delle classi stipendiali triennali ai sensi dell'art. 6 comma 14 e 8 della L.240/2010 - ricercatori
15. Varie ed eventuali.

Riservato ai Professori di Prima e Seconda Fascia

15bis) Relazioni triennali dei professori

16. Valutazione ai fini dell'attribuzione dell'importo una tantum ex art. 1, c. 629, L. 205/2017, D.M. 197/2018 e Regolamento di Ateneo emanato con D.R. 1706/2018 – docenti II fascia
17. Varie ed eventuali.

Riservato ai Professori di Prima Fascia

18. Valutazione ai fini dell'attribuzione dell'importo una tantum ex art. 1, c. 629, L. 205/2017, D.M. 197/2018 e Regolamento di Ateneo emanato con D.R. 1706/2018 – docenti I fascia
19. Varie ed eventuali.

IL SEGRETARIO

(sig. Giovanni Magara)

F.to Giovanni Magara

IL PRESIDENTE

(prof. Giuseppe Saccomandi)

F.to Giuseppe Saccomandi

IL VICE DIRETTORE

(prof. Paolo Mezzanotte)

F.to Paolo Mezzanotte

Relazione finale Assegno di Ricerca 2017-2018: Progetto di modelli, algoritmi e interfacce per l'analisi visuale di reti di grandi dimensioni

Responsabile scientifico: Prof. Giuseppe Liotta
Assegnista: Fabrizio Montecchiani

Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi di Perugia

Novembre, 2018

1 Introduction

Graph drawing is an area of computer science that studies models and algorithms for the representation of graphs [12, 35]. In particular, it is widely accepted that a drawing with too many *edge crossings* is harder to read than a drawing of the same graph with fewer edge crossings, as confirmed by a series of cognitive experimental studies (see, e.g., [47, 48, 51]). As a consequence, a large part of the existing literature on graph drawing showcases elegant algorithms and sophisticated data structures under the assumption that the input graph is planar, i.e., it admits a drawing without edge crossings. When the input graph is non-planar, crossing minimization heuristics are used to insert a small number of dummy vertices corresponding to the edge crossings, so to obtain a planarization of the input graph. This approach is commonly adopted and works well for graphs of relatively small size, up to a few hundred vertices and edges (see, e.g., [12, 33]). However, the technological advances of the last twenty years have generated torrents of relational data that are typically modeled as large graphs with thousands

of vertices (or more). These graphs are often hard to visually analyze due, mainly, to their large size which typically implies that a high number of edge crossings is unavoidable even by the most sophisticated planarization approaches. As a consequence, a strong consensus has developed that a new theory of non-planar graph drawing is needed.

Recent experiments [29, 31, 30] suggest that a new theory of non-planar graph drawing can be developed under the assumption that not only the number of edge crossings but also their (topological and/or geometric) properties have an impact on the readability of a diagram. Hence, a natural step towards understanding non-planar representations of graphs is to classify and study them in terms of *forbidden crossing configurations*. This is, in a broad sense, the aim and scope of the rapidly growing research area of *graph drawing beyond planarity*.

In the last year, my research activity mostly focused on the area of graph drawing beyond planarity. In this field, I studied both structural properties (Section 2) and drawing algorithms (Section 3) for various graph families. Besides the above research direction, I carried out research on other problems within the fields of graph drawing and computational geometry. For further details on this additional research the reader can refer to Section 4.1 for the corresponding publications.

All the results described in this document have been achieved through joint works with my supervisor, with other members of my research group, and in some cases with international coauthors.

The remainder of this document is organized as follows.

- Section 2 presents results about topological properties of beyond-planar graph families.
- Section 3 describes results about drawing algorithms for beyond-planar graph families.
- Section 4 contains additional information concerning my research activity. Namely, the publications related to the research carried out in the last year are listed in Subsection 4.1, while a report of the international conferences and workshops that I attended in the last year can be found in Subsection 4.2.

2 Edge Partitions of k -Planar Graphs

2.1 Motivation and Related Work

Partitioning the edges of a graph such that each partite set induces a subgraph with a simpler structure is a fundamental problem in graph theory with various applications, including the design of graph drawing algorithms. For example, a classic result by Schnyder [50] states that the edge set of any maximal planar graph can be partitioned into three trees, which can be used to efficiently compute planar straight-line drawings on a grid of quadratic size. Edge partitions of planar graphs have also been studied by Gonçalves [26], who proved that the edges of every planar graph can be partitioned into two outerplanar graphs, thus solving a conjecture by Chartrand et al. [10], and improving previous results by Elmallah and Colbourn [24], Kedlaya [36], and Ding et al. [18]. More in general, there exist various graph parameters based on edge partitions. For example, the *arboricity* of a graph G is the minimum number of forests needed to cover all edges of G , while G has *thickness* t if it is the union of t planar graphs. Durocher and Mondal [22] studied the interplay between the thickness t of a graph and the number of bends per edge in a drawing that can be partitioned into t planar sub-drawings.

Recently, edge partitions have been studied for the family of *1-planar graphs*. A graph is *k -planar* ($k \geq 1$) if it can be drawn in the plane such that each edge is crossed at most k times [46]; a topological graph is *k -plane* if it has at most k crossings per edge. The k -planar graphs represent a natural extension of planar graphs, and fall within the more general framework of beyond planarity, already mentioned in Section 1 (see also [6, 17, 27, 28]). Ackerman [1] proved that the edges of any 1-plane graph can be partitioned into a plane graph (a topological graph with no crossings) and a plane forest, extending an earlier result by Czap and Hudák [11]. A 1-planar graph with n vertices is *optimal* if it contains exactly $4n - 8$ edges, which attains the maximum density for 1-planar graphs. Lenhart et al. [41] proved that every optimal 1-plane graph can be partitioned into two plane graphs such that one has maximum vertex degree at most four, where the bound on the vertex degree is worst-case optimal. Di Giacomo et al. [14] proved that every triconnected (not necessarily optimal) 1-plane graph can be partitioned into two plane graphs such that one has maximum vertex degree at most six, which is also a tight bound. This result was exploited to show that every such graph admits a visibility representation in which the vertices are orthogonal poly-

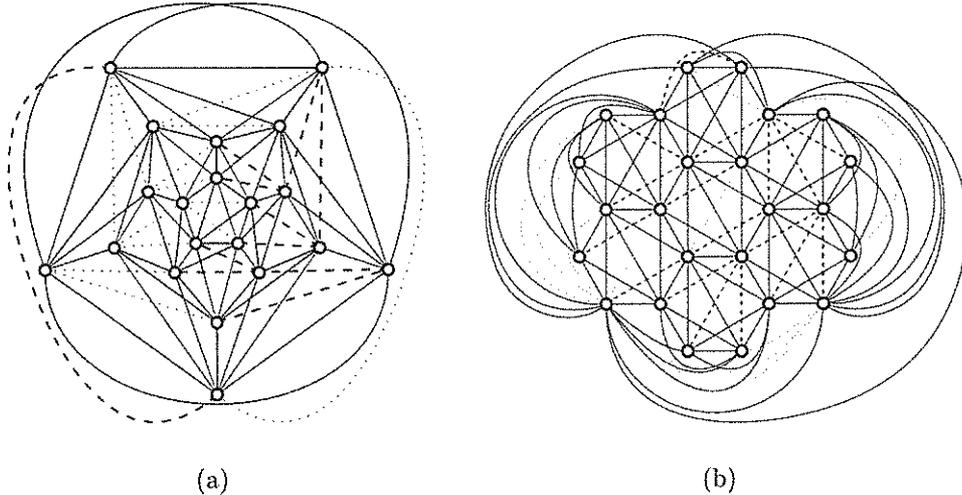


Figure 1: An edge partition of: (a) a simple optimal 2-plane graph into a 1-plane graph (solid) and two plane forests (dashed and dotted); (b) an optimal 3-plane graph (which is not simple) into a 2-plane graph (solid) and two plane forests (dashed and dotted).

gons with few reflex corners each, while the edges are horizontal and vertical lines of sight between vertices [14]. Additional results on edge partitions of various subclasses of 1-plane graphs are reported in [13].

2.2 Contribution

While 1-planar graphs have been extensively studied (for a recent survey refer to [39]), and their structure has been investigated in several works, this is not the case for 2-planar and 3-planar graphs. These graphs have at most $5n - 10$ edges and $5.5n - 11$ edges [46], respectively, and their structure is more complex. Similarly to 1-planar graphs, a 2-planar (respectively, 3-planar) graph with n vertices is *optimal* if it contains exactly $5n - 10$ (respectively, $5.5n - 11$) edges. Examples of optimal 2-plane and optimal 3-plane graphs are shown in Figs. 1(a) and 1(b), respectively. Bekos et al. [7] recently characterized optimal 2-planar and optimal 3-planar graphs, and showed that these graphs have a regular structure. We build upon this characterization and we initiate the study of edge partitions of simple (i.e., with neither self-loops nor parallel edges) optimal 2-plane graphs. We then extend some of

our results to a subclass of optimal 3-plane graphs. More precisely, our contributions can be summarized as follows, see [CONF-3] for additional details.

- We prove that it is not possible to partition the edges of a simple optimal 2-plane graph G into a 1-plane graph and a forest.
- On the positive side, every optimal 2-plane graph, whose crossing-free edges form a biconnected graph, can be partitioned into a 1-plane graph and two plane forests. This implies that every simple optimal 2-plane graph admits such an edge partition. For an example, refer to Fig. 1(a).
- Additionally, we prove that the edges of a simple optimal 2-plane graph can always be partitioned into a 1-plane graph and a plane graph with maximum vertex degree at most 12. The upper bound on the vertex degree can be lowered to 8 if the crossing-free edges of the simple optimal 2-plane graph form a graph with no separating triangles. Both bounds are achieved with constructive techniques in polynomial time.
- Besides the above upper bound on the vertex degree, we establish a non-trivial lower bound. Specifically, we exhibit an infinite family of simple optimal 2-plane graphs such that in any edge partition composed of a 1-plane graph and a plane graph, the plane graph has maximum vertex degree at least 6 and the 1-plane graph has maximum vertex degree at least 12.
- We prove that any (non-simple) optimal 3-plane graph, whose crossing-free edges form a biconnected graph, can be partitioned into a 2-plane graph and two plane forests; also in this case, the edge partition can be computed in linear time. For an example, refer to Fig. 1(b).

2.3 Future Research Directions

A natural question motivated by our research is whether the edges of a (simple) optimal 2-plane graph can be partitioned into a plane graph and two forests (which together contain at most four trees). Moreover, the problem of partitioning the edges of an optimal 3-plane graph into a 2-plane graph and a forest is still open.

We showed that the edges of a simple optimal 2-plane graph G can be partitioned into a 1-plane graph and a plane graph with maximum vertex

degree at most 12, or at most 8 if the pentangulation of G does not contain separating triangles. On the other hand, there exist simple optimal 2-plane graphs for which the plane graph of any such an edge partition has maximum vertex degree at least 6. Reducing the gap between these two bounds on the vertex degree is an interesting problem.

3 Drawing Algorithms for 1-Planar Graphs

3.1 Motivation and Related Work

We start by recalling that a graph is *1-planar* if it can be drawn in the plane such that each edge is crossed at most once. The notion of 1-planarity naturally extends planarity and received considerable attention since its first introduction by Ringel in 1965 [49], as witnessed by recent surveys [17, 39]. Despite the efforts made in the study of 1-planar graphs, only few results are known concerning their geometric representations. The main goal of our research is to investigate the existence of 1-planar drawings that simultaneously satisfy the following properties: edges are polylines using few bends and few distinct slopes for their segments, edge crossings occur at large angles, and pairs of edges incident to the same vertex form large angles. For example, Fig. 2 shows a 1-bend drawing of a 1-planar graph (i.e., a drawing in which each edge is a polyline with at most one bend) using 4 distinct slopes, such that edge crossings form angles at least $\pi/4$, and the angles formed by edges incident to the same vertex are at least $\pi/4$. In what follows, we briefly recall known results concerning the problems of computing polyline drawings with few bends and few slopes or with few bends and large angles.

The *k-bend (planar) slope number* of a (planar) graph G with maximum vertex degree Δ is the minimum number of distinct edge slopes needed to compute a (planar) drawing of G such that each edge is a polyline with at most k bends. When $k = 0$, this parameter is simply known as the *(planar) slope number* of G . Clearly, if G has maximum vertex degree Δ , at least $\lceil \Delta/2 \rceil$ slopes are needed for any k . While there exist non-planar graphs with $\Delta \geq 5$ whose slope number is unbounded with respect to Δ [3, 45], Keszegh et al. [37] proved that the planar slope number is bounded by $2^{O(\Delta)}$. Several authors improved this bound for subfamilies of planar graphs (see, e.g., [32, 38, 40]).

Concerning k -bend drawings, Angelini et al. [2] proved that the 1-bend

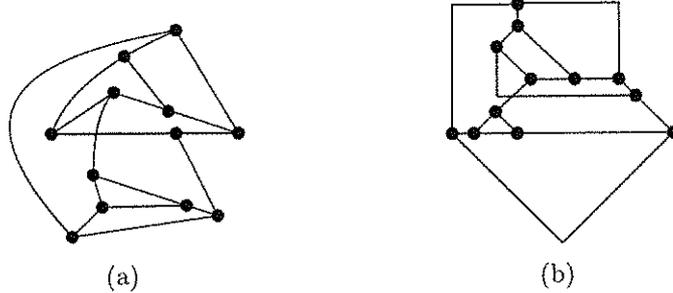


Figure 2: (a) A 3-connected 1-plane cubic graph G ; (b) a 1-bend 1-planar drawing with 4 slopes of G

planar slope number is at most $\Delta - 1$, while Keszegh et al. [37] proved that the 2-bend planar slope number is $\lceil \Delta/2 \rceil$ (which is tight). Special attention has been paid in the literature to the slope number of (*sub*)cubic graphs, i.e., graphs having vertex degree (at most) 3. Mukkamala and Pálvölgyi showed that the four slopes $\{0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}\}$ suffice for every cubic graph [44]. For planar graphs, Kant and independently Dujmović et al. proved that cubic 3-connected planar graphs have planar slope number 3 disregarding the slopes of three edges on the outer face [19, 34], while Di Giacomo et al. [16] proved that the planar slope number of subcubic planar graphs is 4. We also remark that the slope number problem is related to orthogonal drawings, which are planar and with slopes $\{0, \frac{\pi}{2}\}$ [20], and with octilinear drawings, which are planar and with slopes $\{0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}\}$ [5]. All planar graphs with $\Delta \leq 4$ (except the octahedron) admit 2-bend orthogonal drawings [8, 42], and planar graphs admit octilinear drawings without bends if $\Delta \leq 3$ [16, 34], with 1 bend if $\Delta \leq 5$ [5], and with 2 bends if $\Delta \leq 8$ [37].

Of particular interest for us is the k -bend 1-planar slope number of 1-planar graphs, i.e., the minimum number of distinct edge slopes needed to compute a 1-planar drawing of a 1-planar graph such that each edge is a polyline with at most $k \geq 0$ bends. Di Giacomo et al. [15] proved an $O(\Delta)$ upper bound for the 1-planar slope number ($k = 0$) of outer 1-planar graphs, i.e., graphs that can be drawn 1-planar with all vertices on the external boundary.

Finally, we recall that the *vertex resolution* and the *crossing resolution* of a drawing are defined as the minimum angle between two consecutive segments incident to the same vertex or crossing, respectively (see, e.g., [21,

25, 43]). A drawing is *RAC* (*right-angle crossing*) if its crossing resolution is $\pi/2$. Eades and Liotta proved that 1-planar graphs may not have straight-line RAC drawings [23], while Chaplick et al. [9] and Bekos et al. [4] proved that every 1-planar graph has a 1-bend RAC drawing that preserves the embedding.

3.2 Contribution

We prove upper and lower bounds on the k -bend 1-planar slope number of 1-planar graphs, when $k \in \{0, 1, 2\}$. Our results are based on techniques that lead to drawings with large vertex and crossing resolution.

- We prove that every 3-connected cubic 1-planar graph admits a 1-bend 1-planar drawing that uses at most 4 distinct slopes and has both vertex and crossing resolution $\pi/4$.
- We show that every subcubic 1-planar graph admits a 2-bend 1-planar drawing that uses at most 2 distinct slopes and has both vertex and crossing resolution $\pi/2$. These bounds on the number of slopes and on the vertex/crossing resolution are clearly worst-case optimal.
- We give a 3-connected cubic 1-plane graph for which any embedding-preserving 1-bend drawing uses at least 3 distinct slopes. The lower bound holds even if we are allowed to change the outer face.
- We present 2-connected subcubic 1-plane graphs with n vertices such that any embedding-preserving straight-line drawing uses $\Omega(n)$ distinct slopes, and 3-connected 1-plane graphs with maximum degree $\Delta \geq 3$ such that any embedding-preserving straight-line drawing uses at least $9(\Delta - 1)$ distinct slopes, which implies that at least 18 slopes are needed if $\Delta = 3$.

3.3 Future Research Directions

Our research gives rise to interesting questions, among them: Is it possible to extend our results to all subcubic 1-planar graphs? Is the 1-planar slope number of 1-planar graphs bounded by a function of the maximum degree?

4 Publications and Attended Conferences

4.1 Publications

International Journals

- [JOUR-7] S. W. Bae, J.-F. Baffier, J. Chun, P. Eades, K. Eickmeyer, L. Grilli, S.-H. Hong, M. Korman, F. Montecchiani, I. Rutter, C. D. Tóth, “Gap-planar Graphs”. *Theoretical Computer Science*, 745: 36–52 (2018).
- [JOUR-6] T. Biedl, , G. Liotta, F. Montecchiani. “Embedding-Preserving Rectangle Visibility Representations of Nonplanar Graphs” *Discrete & Computational Geometry*, 60(2): 345–380 (2018).
- [JOUR-5] A. Arleo, W. Didimo, G. Liotta, F. Montecchiani. “Profiling distributed graph processing systems through visual analytics”. *Future Generation Computer Systems*, 87: 43–57 (2018).
- [JOUR-4] W. Didimo, L. Giamminonni, G. Liotta, F. Montecchiani and D. Pagliuca. “A visual analytics system to support tax evasion discovery”. *Decision Support Systems*, 110: 71–83 (2018).
- [JOUR-3] A. Arleo, C. Binucci, E. Di Giacomo, W. S. Evans, L. Grilli, G. Liotta, H. Meijer, F. Montecchiani, S. Whitesides, S. K. Wismath, “Visibility Representations of Boxes in 2.5 Dimensions” *Computational Geometry*. 72: 19–33 (2018).
- [JOUR-2] E. Di Giacomo, G. Liotta, F. Montecchiani “Drawing subcubic planar graphs with four slopes and optimal angular resolution” *Theoretical Computer Science*, 714: 51–73 (2018).
- [JOUR-1] E. Di Giacomo, W. Didimo, W. S. Evans, G. Liotta, H. Meijer, F. Montecchiani, S. K. Wismath “New Results on Edge Partitions of 1-plane Graphs” *Theoretical Computer Science*, 713: 78–84 (2018).

International Conferences

- [CONF-6] G. Liotta, F. Montecchiani, A. Tappini, “Ortho-polygon Visibility Representations of 3-connected 1-plane Graphs”. In *27th Int. Symposium on Graph Drawing & Network Visualization (GD 2018)*, Accepted, 2018.

-
- [CONF-5] M. Bekos, E. Di Giacomo, W. Didimo, G. Liotta, F. Montecchiani, “Universal Slope Sets for Upward Planar Drawings”. In *27th Int. Symposium on Graph Drawing & Network Visualization (GD 2018)*, Accepted, 2018.
- [CONF-4] P. Kindermann, F. Montecchiani, L. Schlipf, A. Schulz, “Drawing Subcubic 1-Planar Graphs with Few Bends, Few Slopes, and Large Angles”. In *27th International Symposium on Graph Drawing & Network Visualization (GD 2018)*, Accepted, 2018.
- [CONF-3] M. Bekos, E. Di Giacomo, W. Didimo, G. Liotta, F. Montecchiani, C. Raftopoulou, “Edge Partitions of Optimal 2-plane and 3-plane Graphs”. In *44th Int. Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science (WG 2018)*, vol. 11159 of LNCS, pp. 27-39. Springer, 2018.
- [CONF-2] P. Bose, P. Carmi, V. Dujmovic, S. Mehrabi, F. Montecchiani, P. Morin, L. F. Schultz Xavier da Silveira, “Geodesic Obstacle Representation of Graphs”. In *45th Int. Colloquium on Automata, Languages, and Programming (ICALP 2018)*, vol. 107 of LIPIcs, pp. 23:1–23:13. Schloss Dagstuhl - LZI, 2018.
- [CONF-1] M. Kaufmann, J. Kratochvil, F. Lipp, F. Montecchiani, C. N. Raftopoulou, P. Valtr, “Bounded Stub Resolution for Some Maximal 1-Planar Graphs”. In *4th Int. Conference on Algorithms and Discrete Applied Mathematics (CALDAM 2018)*, vol. 10743 of LNCS, pp. 214-220. Springer, 2018.

4.2 Attended Conferences and Workshops

- 27st Int. Symposium on Graph Drawing & Network Visualization (GD 2018), Barcelona, Spain
- 44th Int. Workshop on Graph Theoretic Concepts in Computer Science (WG 2018), Cottbus, Germany
- Workshop on Graph Drawing and Network Visualization 2018 (GNV 2018), Heiligkreuztal, Germany
- Bertinoro Workshop on Graph Drawing 2018 (BWGD 2018), Bertinoro, Italy

References

- [1] E. Ackerman. A note on 1-planar graphs. *Discrete Appl. Math.*, 175:104–108, 2014.
- [2] P. Angelini, M. A. Bekos, G. Liotta, and F. Montecchiani. A universal slope set for 1-bend planar drawings. In B. Aronov and M. J. Katz, editors, *Proc. 33rd Int. Symp. Comput. Geom. (SoCG'17)*, volume 77 of *LIPICs*, pages 9:1–9:16. Schloss Dagstuhl, 2017.
- [3] J. Barát, J. Matousek, and D. R. Wood. Bounded-degree graphs have arbitrarily large geometric thickness. *Electr. J. Comb.*, 13(1):1–14, 2006.
- [4] M. A. Bekos, W. Didimo, G. Liotta, S. Mehrabi, and F. Montecchiani. On RAC drawings of 1-planar graphs. *Theor. Comput. Sci.*, 689:48–57, 2017.
- [5] M. A. Bekos, M. Gronemann, M. Kaufmann, and R. Krug. Planar octilinear drawings with one bend per edge. *J. Graph Algorithms Appl.*, 19(2):657–680, 2015.
- [6] M. A. Bekos, M. Kaufmann, and F. Montecchiani. Guest editors' foreword and overview. *J. Graph Algorithms Appl.*, 22(1):1–10, 2018.
- [7] M. A. Bekos, M. Kaufmann, and C. N. Raftopoulou. On optimal 2- and 3-planar graphs. In *SoCG 2017*, volume 77 of *LIPICs*, pages 16:1–16:16. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2017.
- [8] T. Biedl and G. Kant. A better heuristic for orthogonal graph drawings. *Comput. Geom. Theory Appl.*, 9(3):159–180, 1998.
- [9] S. Chaplick, F. Lipp, A. Wolff, and J. Zink. 1-bend RAC drawings of NIC-planar graphs in quadratic area. In M. Korman and W. Mulzer, editors, *Proc. 34th Europ. Workshop Comput. Geom. (EuroCG'18)*, pages 28:1–28:6. FU Berlin, 2018.
- [10] G. Chartrand, D. Geller, and S. Hedetniemi. Graphs with forbidden subgraphs. *J. Combin. Theory Ser. B*, 10(1):12 – 41, 1971.
- [11] J. Czap and D. Hudák. On drawings and decompositions of 1-planar graphs. *Electr. J. Comb.*, 20(2):P54, 2013.

- [12] G. Di Battista, P. Eades, R. Tamassia, and I. G. Tollis. *Graph Drawing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1999.
- [13] E. Di Giacomo, W. Didimo, W. S. Evans, G. Liotta, H. Meijer, F. Montecchiani, and S. K. Wismath. New results on edge partitions of 1-plane graphs. *Theor. Comput. Sci.*, 713:78–84, 2018.
- [14] E. Di Giacomo, W. Didimo, W. S. Evans, G. Liotta, H. Meijer, F. Montecchiani, and S. K. Wismath. Ortho-polygon visibility representations of embedded graphs. *Algorithmica*, 80(8):2345–2383, 2018.
- [15] E. Di Giacomo, G. Liotta, and F. Montecchiani. Drawing outer 1-planar graphs with few slopes. *J. Graph Algorithms Appl.*, 19(2):707–741, 2015.
- [16] E. Di Giacomo, G. Liotta, and F. Montecchiani. Drawing subcubic planar graphs with four slopes and optimal angular resolution. *Theor. Comput. Sci.*, 714:51–73, 2018.
- [17] W. Didimo, G. Liotta, and F. Montecchiani. A survey on graph drawing beyond planarity. *CoRR*, abs/1804.07257, 2018.
- [18] G. Ding, B. Oporowski, D. P. Sanders, and D. Vertigan. Surfaces, tree-width, clique-minors, and partitions. *J. Combin. Theory Ser. B*, 79(2):221 – 246, 2000.
- [19] V. Dujmović, D. Eppstein, M. Suderman, and D. R. Wood. Drawings of planar graphs with few slopes and segments. *Comput. Geom.*, 38(3):194–212, 2007.
- [20] C. Duncan and M. T. Goodrich. Planar orthogonal and polyline drawing algorithms. In R. Tamassia, editor, *Handbook on Graph Drawing and Visualization*. Chapman and Hall/CRC, 2013.
- [21] C. A. Duncan and S. G. Kobourov. Polar coordinate drawing of planar graphs with good angular resolution. *J. Graph Algorithms Appl.*, 7(4):311–333, 2003.
- [22] S. Durocher and D. Mondal. Relating graph thickness to planar layers and bend complexity. In *ICALP 2016*, volume 55 of *LIPIcs*, pages 10:1–10:13. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2016.

- [23] P. Eades and G. Liotta. Right angle crossing graphs and 1-planarity. *Discr. Appl. Math.*, 161(7-8):961–969, 2013.
- [24] E. S. Elmallah and C. J. Colbourn. Partitioning the edges of a planar graph into two partial k-trees. In *Congressus Numerantium*, pages 69–80, 1988.
- [25] M. Formann, T. Hagerup, J. Haralambides, M. Kaufmann, F. T. Leighton, A. Symvonis, E. Welzl, and G. J. Woeginger. Drawing graphs in the plane with high resolution. *SIAM J. Comput.*, 22(5):1035–1052, 1993.
- [26] D. Gonçalves. Edge partition of planar graphs into two outerplanar graphs. In *STOC 2005*, pages 504–512. ACM, 2005.
- [27] S. Hong, M. Kaufmann, S. G. Kobourov, and J. Pach. Beyond-Planar Graphs: Algorithmics and Combinatorics (Dagstuhl Seminar 16452). *Dagstuhl Reports*, 6(11):35–62, 2017.
- [28] S. Hong and T. Tokuyama. Algorithmics for Beyond Planar Graphs. <http://shonan.nii.ac.jp/shonan/blog/2015/11/15/3972/>. NII Shonan Meeting, Shonan Village Center, 2016.
- [29] W. Huang. Using eye tracking to investigate graph layout effects. In *APVIS 2007*, pages 97–100. IEEE, 2007.
- [30] W. Huang, P. Eades, and S. Hong. Larger crossing angles make graphs easier to read. *J. Vis. Lang. Comput.*, 25(4):452–465, 2014.
- [31] W. Huang, S.-H. Hong, and P. Eades. Effects of crossing angles. In *PacificVis 2008*, pages 41–46. IEEE, 2008.
- [32] V. Jelinek, E. Jelinková, J. Kratochvíl, B. Lidický, M. Tesar, and T. Vyskocil. The planar slope number of planar partial 3-trees of bounded degree. *Graphs Comb.*, 29(4):981–1005, 2013.
- [33] M. Jünger and P. Mutzel, editors. *Graph Drawing Software*. Mathematics and Visualization. Springer, 2004.
- [34] G. Kant. Hexagonal grid drawings. In E. W. Mayr, editor, *Proc. 18th Int. Workshop Graph-Theor. Concepts Comput. Sci. (WG'92)*, volume 657 of *Lecture Notes Comput. Sci.*, pages 263–276. Springer, 1992.

-
- [35] M. Kaufmann and D. Wagner, editors. *Drawing Graphs, Methods and Models*, volume 2025 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 2001.
- [36] K. S. Kedlaya. Outerplanar partitions of planar graphs. *J. Combin. Theory Ser. B*, 67(2):238 – 248, 1996.
- [37] B. Keszegh, J. Pach, and D. Pálvölgyi. Drawing planar graphs of bounded degree with few slopes. *SIAM J. Discrete Math.*, 27(2):1171–1183, 2013.
- [38] K. B. Knauer, P. Micek, and B. Walczak. Outerplanar graph drawings with few slopes. *Comput. Geom.*, 47(5):614–624, 2014.
- [39] S. G. Kobourov, G. Liotta, and F. Montecchiani. An annotated bibliography on 1-planarity. *Computer Science Review*, 25:49–67, 2017.
- [40] W. Lenhart, G. Liotta, D. Mondal, and R. I. Nishat. Planar and plane slope number of partial 2-trees. In S. K. Wismath and A. Wolff, editors, *Proc. 21st Int. Symp. Graph Drawing (GD'13)*, volume 8242 of *Lecture Notes Comput. Sci.*, pages 412–423. Springer, 2013.
- [41] W. J. Lenhart, G. Liotta, and F. Montecchiani. On partitioning the edges of 1-plane graphs. *Theor. Comput. Sci.*, 662:59–65, 2017.
- [42] Y. Liu, A. Morgana, and B. Simeone. A linear algorithm for 2-bend embeddings of planar graphs in the two-dimensional grid. *Discrete Appl. Math.*, 81(1–3):69–91, 1998.
- [43] S. M. Malitz and A. Papakostas. On the angular resolution of planar graphs. *SIAM J. Discrete Math.*, 7(2):172–183, 1994.
- [44] P. Mulkamala and D. Pálvölgyi. Drawing cubic graphs with the four basic slopes. In M. J. van Kreveld and B. Speckmann, editors, *Proc. 19th Int. Symp. Graph Drawing (GD'11)*, volume 7034 of *Lecture Notes Comput. Sci.*, pages 254–265. Springer, 2011.
- [45] J. Pach and D. Pálvölgyi. Bounded-degree graphs can have arbitrarily large slope numbers. *Electr. J. Comb.*, 13(1):1–4, 2006.
- [46] J. Pach and G. Tóth. Graphs drawn with few crossings per edge. *Combinatorica*, 17(3):427–439, 1997.

- [47] H. C. Purchase. Effective information visualisation: a study of graph drawing aesthetics and algorithms. *Interacting with Computers*, 13(2):147–162, 2000.
- [48] H. C. Purchase, D. A. Carrington, and J.-A. Allder. Empirical evaluation of aesthetics-based graph layout. *Empirical Software Engineering*, 7(3):233–255, 2002.
- [49] G. Ringel. Ein Sechsfarbenproblem auf der kugel. *Abhandlungen aus dem Mathematischen Seminar der Universitaet Hamburg*, 29(1–2):107–117, 1965.
- [50] W. Schnyder. Embedding planar graphs on the grid. In *ACM-SIAM SoDA 1990*, pages 138–148. SIAM, 1990.
- [51] C. Ware, H. C. Purchase, L. Colpoys, and M. McGill. Cognitive measurements of graph aesthetics. *Inf. Vis.*, 1(2):103–110, 2002.

RELAZIONE FINALE ASSEGNO DI RICERCA 2018

“CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE E MODELLISTICA DI MATERIALI MAGNETICI UTILIZZATI NELLA MOBILITÀ ELETTRICA”

SOMMARIO

Durata: 15 Dicembre 2017 - 31 Ottobre 2018 (scadenza anticipata per sopraggiunta sovrapposizione con altro assegno di ricerca).

Struttura di Riferimento: Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia.

- Laboratorio di Caratterizzazione Elettromagnetica (CEM), Polo Scientifico Didattico di Terni, Strada Pentima Bassa n. 4, Terni.
- Laboratorio di Elettrotecnica, Via G. Duranti 93, Perugia.

Settore Scientifico Disciplinare (SSD): ING-IND 31 (elettrotecnica).

Responsabile del progetto di ricerca: Ing. Antonio Faba.

SINTESI ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTA

L'attività di ricerca espletata durante il periodo di riferimento ha riguardato essenzialmente problemi di modellistica e verifica sperimentale di materiali ferromagnetici dolci impiegati in sistemi elettrici ed elettronici per la mobilità elettrica. I ferromagneti dolci vengono principalmente utilizzati nella realizzazione di motori per la trazione elettrica, alternatori, ma anche in attuatori elettromeccanici, sensori e trasformatori. Nei primi due casi (per le macchine elettriche rotanti, in generale), essendo necessario un comportamento il più possibile isotropo, i laminati ferromagnetici vengono preparati con grani cristallini arbitrariamente orientati nello spazio, aventi dimensioni medie comprese tra le decine fino a poche centinaia di micron. D'altra parte, i trasformatori, ma anche alcuni motori e tutti i dispositivi che lavorano con magnetizzazione assiale, vengono realizzati con leghe ferromagnetiche a "grano orientato". Queste ultime presentano un comportamento fortemente anisotropo, i grani aventi orientazione ottima vengono fatti crescere mediante una serie di processi di laminazione sia a freddo che a caldo con stadi intermedi di ricottura (annealing) e introducendo un certo tipo di impurità. Le leghe così prodotte presentano grani di dimensioni fino a oltre un centimetro, mediamente orientati secondo la cosiddetta "orientazione Goss".

La trazione elettrica, specie nei sistemi per l'automotive, avviene mediante inverter a modulazione d'ampiezza (pulse width modulation "PWM" technique), essendo l'alimentazione a batterie. Ne consegue che le forme d'onda dei segnali di eccitazione risultano fortemente distorte, ed i processi di magnetizzazione che interessano i materiali ferromagnetici presentano, oltre alla componente fondamentale, un contenuto armonico rilevante a frequenze superiori. Le componenti spettrali della magnetizzazione contribuiscono ad incrementare in ragione non lineare la potenza che viene persa nel materiale.

Le motivazioni principali della presente attività di ricerca sono legate alla necessità di misurare sperimentalmente, ma anche predire attraverso opportuni schemi di calcolo, l'energia o la potenza che vengono dissipate nel materiale in condizioni operative tipiche. Nei sistemi per la mobilità elettrica, lo studio delle perdite deve poter essere condotto in regimi di eccitazione a frequenze relativamente elevate e con forme d'onda dell'induzione magnetica non sinusoidali, tenendo conto l'effetto che hanno i vari parametri (frequenza e ampiezza della fondamentale, numero delle armoniche, ampiezza e fase delle armoniche rispetto alla fondamentale) sull'energia dissipata.

Durante il periodo di riferimento ho principalmente sviluppato uno studio sistematico, sia teorico che sperimentale, orientato all'analisi prestazionale dei materiali ferromagnetici in funzione delle condizioni di

eccitazione, e l'effetto che hanno alcuni parametri di progetto (relativi anche alla scelta del materiale stesso) sulle perdite magnetiche.

La ricerca sperimentale, condotta durante il periodo di riferimento, può essere riassunta suddividendola nelle due distinte attività che verranno elencate e discusse nel prosieguo.

a) ANALISI CRISTALLOGRAFICA

Parte dell'attività di ricerca ha riguardato la misura e la stima dell'orientazione dei grani cristallini nelle leghe ferromagnetiche a grano orientato. In particolare, si è sviluppato un metodo sperimentale basato su misure magnetiche non a contatto. L'orientazione locale del cristallo cubico è stata ricavata grazie alla misura dell'anisotropia magnetica di superficie, il cui pattern è legato dalla orientazione nello spazio dei tre assi del cristallo cubico. Parallelamente allo sviluppo del setup sperimentale di misura, è stato ideato ed implementato un modello magnetico per il grano cristallino a reticolo cubico (valido per le celle cubica semplice, facce-centrate, corpo-centrato). Opportune simulazioni dedicate hanno permesso la individuazione di funzioni analitiche in grado di mettere in relazione i parametri magnetici misurati con la posizione nello spazio degli assi cristallografici. Il metodo sviluppato è stato messo a confronto con la tecnica EBSD (electron back-scattering diffractometry), una delle più comunemente utilizzate per l'analisi delle caratteristiche di tessitura e distribuzione delle orientazioni dei grani cristallini. I risultati di questa attività sono riportati in dettaglio in [1].

Va detto che la diagnostica che fa uso delle misure magnetiche non a contatto è non distruttiva, a differenza delle tecniche diffrattometriche, perciò potrebbe rivelarsi un metodo promettente per il testing online e real-time della qualità del materiale in fase di produzione.

b) ANALISI PERDITE MAGNETICHE

Questa attività può essere concettualmente divisa in una parte sperimentale di misura ed una parte teorica relativa alla modellistica e al calcolo.

L'obiettivo principale prefissato all'inizio dell'assegno di ricerca consisteva nel progetto e realizzazione di un sistema di misura standardizzato (in accordo con le norme IEC 60404-1, IEC 60404-2, IEC 60404-4) delle proprietà magnetiche di materiali ferromagnetici dolci. Rispetto al precedente setup sperimentale di prova, non perfettamente allineato con quanto richiesto dalle norme, era anzitutto necessario migliorarne il rapporto segnale rumore, l'efficienza e soprattutto estenderne la banda di frequenze.

Buona parte dei primi mesi di attività sono stati spesi nella individuazione della componentistica necessaria e nella effettiva realizzazione e collaudo del sistema di misura. Rispetto alla precedente versione, si è implementato un algoritmo di feedback molto più efficiente, per il controllo della forma d'onda dell'induzione magnetica, che ha consentito non solo di estendere la banda di frequenze da 50 Hz fino ad oltre 1 kHz in regime sinusoidale, ma anche di poter imprimere al materiale forme d'onda arbitrarie dell'induzione magnetica (garantendo convergenza anche in presenza di armoniche superiori fino almeno al VII ordine).

L'utilizzo di una nuova scheda di acquisizione (NI - USB 6363 BNC Type) ha consentito di rendere il sistema più efficiente, mentre la misura di segnali di potenza è stata resa possibile mediante sonde di tensione attive. Infatti, i convenzionali circuiti di attenuazione (come ad esempio le sonde tradizionali dell'oscilloscopio) che utilizzano delle reti passive, non si sono rivelati efficaci per problemi di cross-talk nella scheda di acquisizione.

Questo insieme di strategie ci ha consentito di effettuare misure di processi di magnetizzazione statici e dinamici con forme d'onda controllate dell'induzione magnetica B , sia sinusoidali che non, e poter valutare l'effetto delle armoniche (ampiezze e fasi relative rispetto alla fondamentale) sulle perdite magnetiche del materiale sotto test. Buona parte dei risultati ottenuti in questo ambito saranno oggetto di un futuro lavoro (attualmente in fase di stesura) e, sperabilmente di una futura pubblicazione. Risultati parziali sono invece riportati in [2].

Parallelamente al lavoro sperimentale, è stato implementato un modello dinamico per la simulazione di processi di magnetizzazione scalare, basato sulla risoluzione alle differenze finite (FDTD) dell'equazione della diffusione (direttamente ricavabile a partire dalle equazioni di Maxwell, sotto opportune condizioni che risultano valide in materiali laminati). La relazione costitutiva:

$$B = \mu_0(H + M)$$

che esprime le proprietà del materiale magnetico, è data da un modello di isteresi statico derivato dalla Teoria di Preisach. Tale relazione è in grado di riprodurre fenomeni di isteresi statica ed è necessaria al modello dinamico per il calcolo della permeabilità magnetica differenziale (proporzionale a dM/dH) in funzione sia del campo magnetico applicato H che della magnetizzazione precedente. Il modello dinamico risulta quindi in parte di natura fenomenologica (per il calcolo della permeabilità differenziale) ed in parte di natura fisica (essendo i campi vettoriali calcolati a partire dalle equazioni di Maxwell).

Il confronto tra le simulazioni FDTD e le misure, sia in regime sinusoidale che non, ha mostrato la validità del modello, indipendentemente dalle caratteristiche del segnale di eccitazione, con dei limiti che si evidenziano a frequenze molto elevate (superiori ad un kHz e comunque limitatamente alle leghe a grano orientato), quando il materiale è soggetto a perdite importanti per micro-correnti indotte (dovute al moto caotico dei domini magnetici). Tale confronto è stato effettuato sia per materiali a grano orientato che per leghe a grano non orientato. Recentemente sono state effettuate misure e simulazioni anche di materiali magnetici toroidali solidi (non laminati), soprattutto impiegati in attuatori elettromeccanici. In questo tipo di applicazioni i segnali di eccitazione di maggiore interesse sono quelli a gradino, in modo da simulare le fasi di accensione e spegnimento degli attuatori.

Per mezzo del setup sperimentale di prova sviluppato, è stato possibile effettuare misure applicando tensioni in ingresso a gradino e valutare la risposta al transitorio in termini sia di campo magnetico H che di induzione magnetica B .

Abbiamo, infine, utilizzato il modello dinamico per predire le forme d'onda dei campi H e B , quando sono applicate tensioni a gradino, e abbiamo ottenuto risultati molto buoni, soprattutto per quanto concerne l'analisi della magnetizzazione residua dopo lo spegnimento. Per ovvi motivi questa quantità è di grande interesse in quanto tende a mantenere l'attuatore nella sua posizione ON, e la possibilità di predire questa grandezza con un errore medio compreso tra 3 e 7 % è stato un altro fattore di validazione del modello di non secondaria importanza. Quest'ultima attività è stata svolta in collaborazione con OMA spa, ed i risultati ottenuti non sono al momento oggetto di pubblicazione.

Oltre a queste tecniche di stima delle perdite, basate sul calcolo dei campi vettoriali nel materiale, sono stati esplorati altri metodi noti in letteratura, soprattutto i metodi analitici derivati dalla teoria di Steinmetz e dalla teoria di Bertotti.

In un futuro lavoro mostreremo il confronto tra i metodi analitici, i risultati predetti dal modello dinamico e la comparazione con le misure, sempre mettendo alla prova questi approcci, nati e applicati per magnetizzazioni sinusoidali, anche in condizioni di eccitazioni distorte da armoniche superiori.

OBIETTIVI RAGGIUNTI

- Analisi della qualità dei materiali a grano orientato mediante misure cristallografiche non a contatto.
- Implementazione setup sperimentale di misura in accordo con le norme della serie IEC 60404.
- Analisi di magnetizzazioni a frequenze di interesse per i sistemi utilizzati nella mobilità elettrica.
- Analisi di magnetizzazioni distorte, simulando i segnali PWM applicati per la trazione di motori elettrici in automotive.
- Implementazione modello dinamico per la simulazione di processi di magnetizzazione e la predizione delle perdite magnetiche con eccitazioni tipiche dei sistemi per la mobilità elettrica.

POSSIBILI SVILUPPI FUTURI

- Realizzazione Inverter PWM 3-fase o 2-fase e analisi delle proprietà vettoriali (in 2-D) dei materiali.
- Estensione del modello dinamico in 2-D.

ALTRE ATTIVITÀ

Sono state effettuate altre attività minori in supporto alla ricerca, soprattutto per quanto riguarda la parte di sperimentazione, che hanno prodotto le pubblicazioni [3 - 5], nelle quali, a differenza delle prime due, non rappresento il ruolo di autore principale.

Ho, inoltre, preso parte ad attività di assistenza alla didattica nei corsi di:

- a) Laboratorio di Elettrotecnica, c.d.l. Ingegneria Industriale, Polo di Terni.
- b) Elettrotecnica, c.d.l. Ingegneria Meccanica, Perugia.

PRESENTAZIONI A CONFERENZE INTERNAZIONALI

- *"Non-Invasive Testing of Crystal Grain Orientation for Electrical Steels with Goss Texture"*, IEEE Advances in Magnetism (AIM), 5th February 2018, La Thuile, ITALY.
- *"Towards Online Evaluation of Goss-texture Properties in Ferromagnetic Laminated Alloys"*, IEEE Annual Meeting "Magnetism Society" 2018 (**INVITED SPEAKER**), 4th June 2018, Gioiosa Marea (ME), ITALY.
- *"Power Losses Measurements and Prediction in Ferromagnetic Steel Sheets"*, IEEE 4th International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), 13th September 2018, Palermo, ITALY.

PUBBLICAZIONI EFFETTUATE NELL'ANNO DI RIFERIMENTO

- [1] E. Cardelli, R. Donnini, A. Faba, S. Quondam Antonio, *"Towards online evaluation of Goss-texture in grain-oriented ferromagnetic sheets"*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 473 (2019), pp. 136-143.
- [2] S. Quondam Antonio, H. P. Rimal, *"Power Losses in Ferromagnetic Steel Sheets for Avionic Environment"*, Proceedings of the 2018 IEEE 4th International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), Palermo, ITALY.
- [3] E. Cardelli, A. Faba, M. Pompei, S. Quondam Antonio, F. Tissi, *"Optimal Design of Lightning Pulse Generators for the Experimental Study of Indirect Effects in Avionic Systems"*, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 56, No S1 (2018), pp. 123-131, DOI: 10.3233/JAE-172289.
- [4] A. Reatti, F. Corti, H. P. Rimal, S. Quondam Antonio, *"Design Centering of Wireless Power Transfer Systems for Avionics"*, Proceedings of the 2018 IEEE 4th International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), Palermo, ITALY.
- [5] G. Giglia, G. Ala, L. Mistretta, G. Giaconia, S. Quondam Antonio, H. P. Rimal, *"Design and Assessment of Optimized EMI Filters for Avionic Applications"*, Proceedings of the 2018 IEEE 4th International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), Palermo, ITALY.

19/11/2018

Titolare dell'assegno:
Dott. Simone Quondam Antonio

Responsabile del Progetto di Ricerca:
Ing. Antonio Faba

Donald Antonio Snow

eff



Progetto di Ricerca

Tecniche di comunicazione molecolare per reti nanometriche

Beneficiario dell'assegno di ricerca
LUCA FELICETTI

Tutor
Prof. GIANLUCA REALI

Struttura Ospitante
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA,
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA

RELAZIONE SULL'ATTIVITA' SVOLTA

PERIODO
dicembre 2017 – ottobre 2018

Introduzione

Le attività svolte dall'assegnista nel periodo dicembre 2017 - ottobre 2018 (10 mesi e 15 giorni) si differenziano in attività di ricerca e di sviluppo software volto all'introduzione di funzionalità innovative nel simulatore per le comunicazioni molecolari BiNS2, descritte nella sezione 1. Nella sezione 2 sono descritte le tecniche utilizzate e le problematiche riscontrate per implementare l'esecuzione parallela su sistemi multi-GPU. Nella sezione 3 vengono mostrati i risultati sperimentali ottenuti per mezzo di una campagna di simulazioni volte a misurare le performance delle nuove soluzioni sviluppate rispetto all'architettura originale di BiNS2. Nell'ultima sezione sono elencate le pubblicazioni scientifiche pubblicate nel periodo di riferimento.

1. Attività di ricerca e di sviluppo software

Le attività svolte dall'assegnista sono state caratterizzate prevalentemente dalla collaborazione avviata con il gruppo di ricerca presso la Ghent University, in Belgio.

L'attività di ricerca è stata indirizzata verso lo studio e l'implementazione di nuovi algoritmi e tecniche di ottimizzazione volte a ridurre la mole di dati da processare mediante il simulatore per le comunicazioni molecolari BiNS2. Infatti, data la natura delle simulazioni su scala nanometrica, caratterizzate da un'elevata mole di particelle (tipicamente tra 10^3 e 10^6) una delle fasi più onerose in termini di tempo di elaborazione risulta quella del controllo delle collisioni tra le particelle, che è un'operazione che va eseguita continuamente in modo da identificare ogni possibile interazione tra le stesse. Sono stati quindi analizzati differenti algoritmi in grado di identificare in modo efficiente quali particelle stanno effettivamente interagendo.

Questi algoritmi sono basati su una struttura a griglia gerarchica che suddivide lo spazio e gli elementi da analizzare in sezioni via via sempre più piccole in modo iterativo consentendo di sfruttare in modo efficiente il parallelismo offerto dalle molteplici unità di elaborazione (nell'ordine delle centinaia) presenti sulle schede grafiche (GPU) dell'elaboratore.

Gli aspetti più critici di uno scenario di comunicazione molecolare che influenzano il problema del rilevamento delle interazioni riguardano principalmente:

- L'elevato numero di elementi da analizzare, che porta ad un elevatissimo numero di confronti, nell'ordine di $O(n^2)$
- Tutti gli elementi da analizzare sono in movimento, quindi le strutture dati utilizzate per la memorizzazione delle loro posizioni devono garantire aggiornamenti rapidi e tempi di costruzione ridotti

- Le dimensioni degli elementi da confrontare possono differire anche di alcuni ordini di grandezza, tipicamente tra 10^{-10} e 10^{-2} m
- Gli elementi da analizzare possono essere distribuiti nello spazio in modo casuale o essere concentrati in una sezione ben definita. Tipicamente non è possibile fare delle assunzioni a priori, quindi non è possibile ottimizzare le strutture dati o gli algoritmi in tal senso, obbligando ad un approccio il più generale possibile.

Tenendo in considerazione le problematiche qui sopra elencate, si è concentrata l'attività di ricerca sullo studio e lo sviluppo di algoritmi paralleli per il rilevamento delle collisioni N-body, ovvero nella rilevazione delle collisioni tra un elevato numero di elementi per i quali i confronti a coppie sono operazioni costanti nel tempo. Tipicamente si assume che, a prescindere dalla forma degli elementi analizzati, questi possono essere sempre inglobati in sfere (*bounding spheres*) o rettangoli (*bounding boxes*) ed è stato dimostrato che nel caso peggiore la complessità computazionale è $O(n \log(n) + k)$, dove n è il numero di elementi e k è il numero delle collisioni. Uno degli algoritmi che sfrutta questa considerazione è il sort-and-sweep, dove si assume che se due oggetti (o le loro *bounding spheres*) si sovrappongono nello spazio, anche le loro proiezioni su un ipotetico asse devono farlo, come mostrato in Figura 1. Iterando sulla lista ordinata di elementi, tutte le coppie con le proiezioni che si sovrappongono possono essere controllate in modo più approfondito alla ricerca di una collisione effettiva.

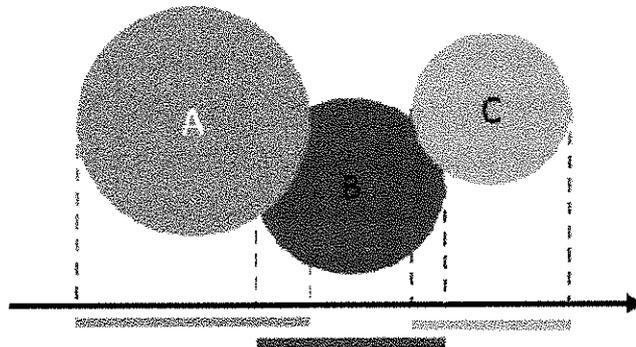


Figura 1. Proiezioni degli oggetti su un singolo asse

1.1. Griglia uniforme (Uniform-grid)

Questo è l'approccio tradizionale utilizzato da BiNS2 e funziona bene quando il numero di oggetti da confrontare non è troppo elevato, si è cercato quindi di superarlo mediante algoritmi *grid-based*. In questo caso all'ambiente simulato è sovrapposta una griglia ed ogni elemento simulato è mappato in tutte le celle della griglia che si sovrappongono con esso. Le coppie di oggetti in collisione possono

essere rilevate iterando su tutte le celle della griglia, verificando se tali oggetti sono mappati nella stessa cella (o celle), in tal caso è possibile che siano in collisione. I bassi tempi di costruzione della griglia rendono questo approccio particolarmente indicato in scenari dinamici, poiché la griglia deve essere ricostruita ad ogni timestep. Tuttavia, è stato dimostrato che le *uniform-grid* non sono altrettanto efficienti in tutti quei casi in cui le dimensioni degli oggetti da confrontare sono molto diverse tra loro. Ciò è dovuto al fatto che una cella della griglia grande, può far sì che molti oggetti più piccoli possano essere mappati al suo interno, causando così un elevato numero di confronti tra di essi (Figura 2.a). D'altro canto, una dimensione troppo piccola delle celle, comporta che ogni oggetto possa venire mappato in un numero elevato di celle, incrementando il tempo di costruzione della griglia (Figura 2.b).

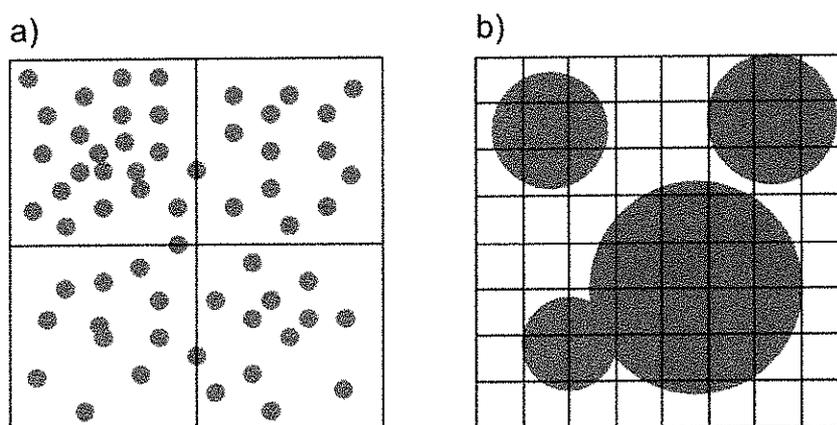


Figura 2. Dimensioni delle celle in funzione di quelle degli elementi da mappare. a) celle troppo larghe rispetto alle dimensioni degli elementi contenuti. b) celle troppo piccole rispetto alle dimensioni degli elementi mappati.

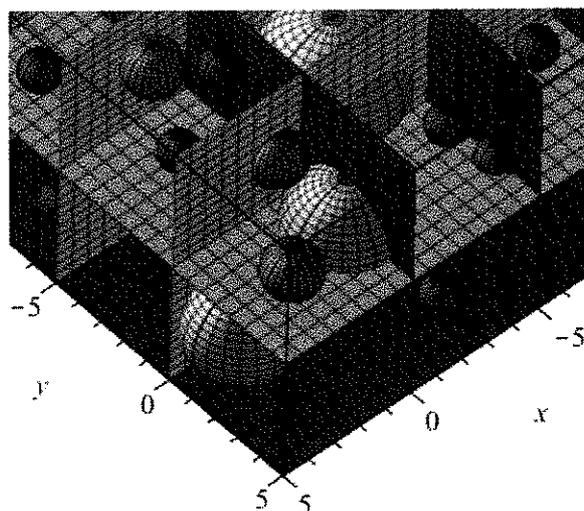


Figura 3. Partizione 3D dell'ambiente simulato.

La griglia rappresenta la struttura dati su cui si basa l'algoritmo per la rilevazione delle collisioni tra le particelle che popolano lo spazio della simulazione, quindi se due particelle sono in collisione, devono condividere almeno una cella della griglia (Figura 3).

L'algoritmo di costruzione della griglia è di tipo parallelo, dove per ogni *bounding sphere* viene lanciato un *thread* che si occupa di mappare quell'elemento su tutte le celle della griglia (*raster cells*) ad esso sovrapposte, incrementando un contatore memorizzato in un array sincronizzato con tutti gli altri thread (per evitare accessi concorrenti allo stesso elemento ad opera degli altri thread) che tiene il conto del numero di oggetti sovrapposti con quella particolare cella della griglia. In questo modo è sufficiente controllare il contatore associato ad una particolare cella della griglia per conoscere immediatamente quanti elementi sono sovrapposti ad essa (Figura 4).

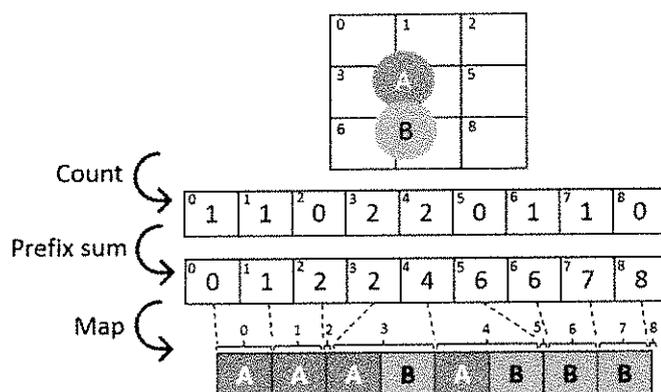


Figura 4. Conteggio degli elementi per ogni cella

Questo approccio richiede tuttavia un consumo di memoria aggiuntivo, poiché ogni cella della griglia deve essere mappata da questo array (quindi anche le celle che non contengono alcun elemento). Un altro aspetto critico da tenere in considerazione è che anche nel caso in cui tutti gli elementi hanno le stesse dimensioni, non è efficiente utilizzare una griglia con celle grandi quando si deve mappare un ambiente molto vasto (risparmiando così memoria grazie al ridotto numero di celle e al conseguente ridotto numero di contatori associati alle celle), poiché anche se la densità globale delle particelle fosse bassa, potrebbero esserci delle zone ad alta concentrazione (abbastanza frequente nelle fasi di trasmissione delle molecole informative). Questo causa, in combinazione all'uso di celle molto grandi, che in alcune di esse vengano mappati un elevato numero di particelle, risultando un una più onerosa fase di rilevamento delle collisioni.

Questa criticità è stata aggirata ribaltando l'approccio utilizzato in precedenza, ovvero invece di contare il numero di oggetti sovrapposti per ogni cella, si tiene il conto del numero di celle che hanno una qualche sovrapposizione con ogni particella (Figura 5).

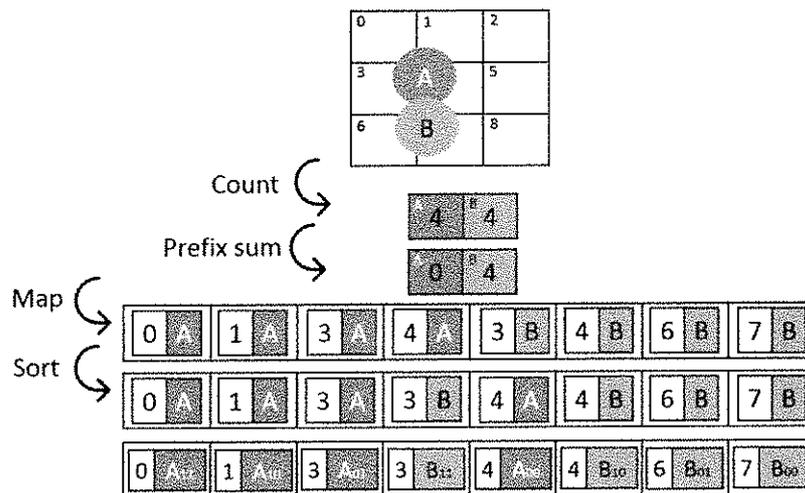


Figura 5. Conteggio delle celle per ogni elemento.

Attraverso l'uso combinato di quest'ultimo algoritmo per la costruzione della griglia e dell'elevato numero di unità di elaborazione (GPU) disponibili su una qualsiasi scheda grafica, è possibile assegnare in modo più efficiente ogni elemento da mappare ad un thread della GPU.

Tuttavia, l'utilizzo di una griglia con celle uniformi (ovvero della stessa dimensione), risulta inefficiente nel caso in cui le particelle possono assumere dimensioni anche molto diverse tra loro (anche di alcuni ordini di grandezza). Infatti, in questo caso, la dimensione della cella dovrebbe essere scelta in modo da contenere la *bounding sphere* più grande, ma questo potrebbe causare un sovraffollamento di alcune celle, costrette a contenere un elevato numero di particelle di piccole dimensioni. In tali celle, la ricerca delle collisioni potrebbe diventare un compito particolarmente oneroso in termini di tempo di elaborazione.

1.2. Griglia gerarchica (EagerGrid)

E' stato sviluppato quindi un approccio più flessibile, basato sulla costruzione di una griglia gerarchica, dove le dimensioni delle celle della griglia sono determinate in funzione delle dimensioni delle particelle da confrontare, in modo gerarchico. Inizialmente viene allocata una dimensione congrua con quella della sfera più grande, in modo da effettuare un controllo delle collisioni che coinvolgono almeno un oggetto di dimensioni elevate. Dopo aver rilevato tutte le collisioni di questo tipo, gli oggetti più grandi fin qui analizzati vengono scartati e si procede iterativamente con la creazione di griglie più piccole alla ricerca di collisioni tra gli oggetti di dimensione inferiore. Queste fasi devono essere eseguite in modo efficiente mediante l'esecuzione parallela sui molteplici core delle GPU. Il rilevamento delle collisioni viene eseguito sfruttando la tecnica introdotta sopra, ovvero quella dei contatori associati ad ogni particella e alle celle della griglia ad essa sovrapposta. Ogni particella considerata, viene confrontata con

gli oggetti della griglia che la seguono e il numero di collisioni identificate viene memorizzato in una cella corrispondente di un nuovo array. E' possibile che una coppia di particelle sovrapposte condivida più di una cella della griglia, quindi, per evitare che vengano conteggiate più di una volta, è stato necessario memorizzare delle informazioni aggiuntive in ciascuno degli elementi della griglia. Ogni elemento della griglia memorizza un bit per ogni dimensione, indicando se corrisponde a una cella che è minima nell'oggetto rispetto a quella dimensione. Quando si esegue il controllo delle collisioni, la verifica della sovrapposizione tra due particelle in una cella verrà eseguito se e solo se la cella è minima per almeno uno dei due oggetti (rispetto ad ogni dimensione). Ad esempio, nello scenario mostrato in Figura 5, verrebbe eseguito un controllo solo per la cella 3.

Terminata questa fase di rilevazione delle collisioni all'interno della stessa griglia, si passa alla rilevazione tra gli elementi più piccoli e la griglia corrente. Per prima cosa, gli elementi piccoli vengono mappati nelle celle della griglia, come mostrato in precedenza, ma senza eseguire alcun ordinamento delle stesse, dopodiché per ogni elemento nella griglia non ordinata, viene lanciato un thread (gestito dalla GPU) e una ricerca binaria per localizzare il primo elemento nella griglia non ordinata che abbia il suo stesso ID della cella (*rastercellId*). La particella corrente (di dimensioni piccole) viene quindi confrontata con tutti gli elementi seguenti nella griglia non ordinata che abbiano lo stesso *rastercellId* (tenendo in considerazione i bit sulle dimensioni) e viene infine memorizzato il numero di collisioni rilevate. In Figura 6 viene mostrato un esempio di questi passi iterativi, in cui oggetti di dimensioni diverse vengono confrontati dai più grandi ai più piccoli costruendo iterativamente la griglia in funzione delle nuove dimensioni (delle particelle) da esaminare.

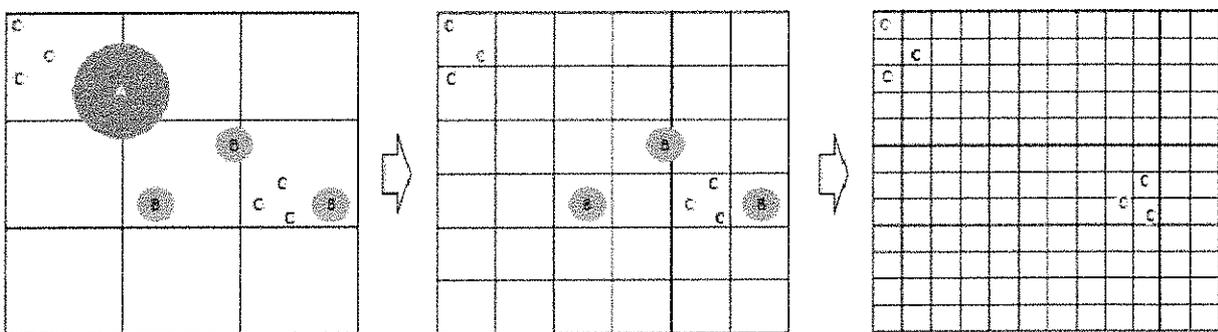


Figura 6. Rilevazione delle collisioni tra oggetti di dimensioni diverse.

Dal punto di vista dell'analisi della complessità computazionale degli algoritmi fin qui analizzati, emerge che la fase di costruzione della griglia ha un costo lineare nel numero di elementi da confrontare, $O(n)$, mentre la fase di ricerca delle collisioni, senza alcuna limitazione nel numero di elementi che possono

sovrapporsi all'interno della singola cella della griglia, ha una complessità quadratica $O(n^2)$. Tuttavia, è stato calcolato il limite per la dimensione della cella, assumendo che il numero di sovrapposizioni sia limitato dal volume effettivo degli oggetti che potrebbero essere effettivamente inglobati all'interno di essa, quindi tipicamente la complessità è nell'ordine di $O(n)$.

È stato verificato attraverso le simulazioni che gli algoritmi fin qui analizzati risultano convenienti negli scenari densamente popolati da piccole particelle. Tuttavia, nei casi in cui le piccole particelle siano più sparpagiate nello spazio, è possibile che per alcune celle della griglia più grandi, il numero di elementi mappati nella stessa cella sia limitato. In tal caso sarebbe conveniente effettuare subito un controllo delle collisioni tra questi elementi dalle dimensioni ridotte, piuttosto che costruire iterativamente griglie con trame più fitte (risparmiando così nel tempo di costruzione delle griglie successive).

1.3. Griglia gerarchica approssimata (LazyGrid)

L'approccio precedente è stato snellito, identificando quei casi in cui non è necessario aumentare il livello di dettaglio oltre il necessario, introducendo un limite τ_1 al numero di elementi contenuti nella cella. Quindi se il numero di elementi è inferiore a τ_1 si procede subito con il controllo delle collisioni, eliminandoli dai controlli delle fasi successive in cui verrà creata la griglia a trama fine. Impostando $\tau_1=0$, nessun oggetto verrà scartato nelle fasi successive, quindi gli elementi coinvolti in ogni livello della griglia saranno gli stessi di quelli considerati dalla Griglia gerarchica vista al paragrafo 1.2.

In Figura 7 è riportato lo stesso esempio visto in Figura 6, ma in questo caso, grazie al parametro τ_1 , è possibile scartare alcuni oggetti prima di procedere con la creazione dei livelli più profondi della griglia, ovvero l'elemento B nella cella centrale della prima griglia a sinistra non viene riconsiderato nelle griglie successive, perché il controllo delle collisioni viene effettuato sul momento con gli altri (pochi) elementi sovrapposti a quella stessa cella.

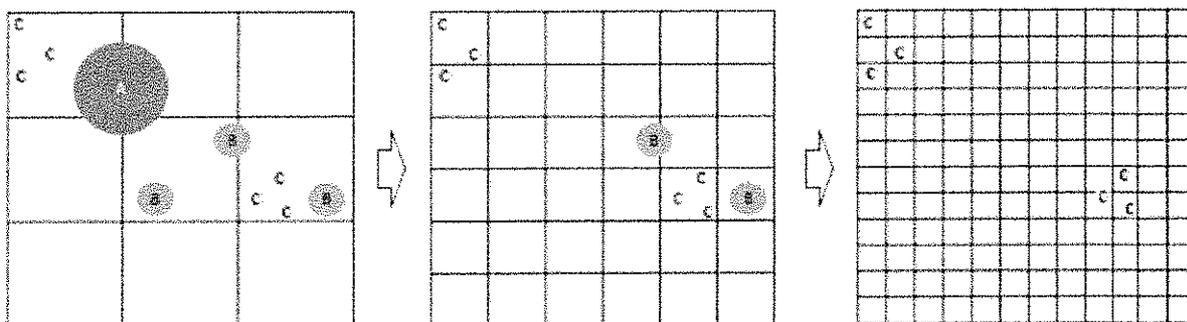


Figura 7. Rilevazione delle collisioni tra oggetti di dimensioni diverse nella griglia approssimata. La sfera B nella prima griglia a sinistra non viene riconsiderata nella costruzione dei livelli successivi della griglia.

2. Elaborazione parallela su sistemi multi-GPU

Gli algoritmi introdotti nei paragrafi precedenti richiedono l'esecuzione di un elevato numero di operazioni che devono essere eseguite in parallelo per poter produrre riduzioni sensibili nei tempi di esecuzione rispetto ad altri approcci più tradizionali (anche se restano evidenti i benefici apportati dalla nuova gestione di segmentazione dell'input da processare secondo le strategie adottate).

Un tradizionale sistema di elaborazione, anche se equipaggiato con una o più CPU abilitate al supporto del multithreading, non può comunque fare affidamento su un livello di parallelismo adeguato (nell'ordine di 10^1 thread). Riuscendo invece a trasferire parte delle elaborazioni più onerose in termini di tempo (a causa dell'elevato numero e non tanto della complessità dell'elaborazione delle singole operazioni) sulle GPU dell'elaboratore, è possibile contare su un grado di parallelismo molto più elevato ($\approx 10^3$ core). Inoltre, questi core sono in grado di eseguire questo tipo di operazioni in modo più efficiente rispetto ad una CPU di tipo *general purpose*.

Gli algoritmi analizzati sono stati implementati in C++ sfruttando le librerie CUDA e sono poi stati inclusi nel codice JAVA di BiNS2 mediante le JNI (Java Native Interface) che consentono di richiamare dal codice JAVA alcune funzioni scritte con altri linguaggi di programmazione (in questo caso C++ che a sua volta richiama le funzioni di CUDA).

La ripartizione delle operazioni sulle GPU, introduce inevitabilmente delle latenze dovute all'interfacciamento con le JNI e al trasferimento dei dati dalla memoria centrale (RAM) a quella della scheda grafica. Questi trasferimenti sono stati minimizzati in modo da non vanificare i benefici introdotti dal nuovo approccio.

Nel caso migliore, i dati da processare vengono partizionati in sezioni disgiunte in modo tale che ogni GPU riceva soltanto i dati che le occorrono per completare le operazioni, indipendentemente dalle altre. Quindi i dati da inviare alle singole GPU devono essere pre-processati dalla CPU in modo tale che i dati richiesti dai molteplici core delle GPU e i relativi trasferimenti, siano minimizzati.

Inoltre, è importante bilanciare il carico di lavoro tra le molteplici unità di elaborazione, per evitare che qualcuna resti in attesa che le altre terminino l'elaborazione.

Se le GPU non sono omogenee, ognuna dovrà ricevere una quota parte del lavoro complessivo in funzione dell'effettiva capacità di elaborazione. Questo è uno degli aspetti critici da tenere più in considerazione e dipende in gran parte dal fatto che non è possibile fare alcuna assunzione in merito alla distribuzione delle particelle nell'ambiente da simulare. Alla luce di questa considerazione, gli approcci basati sulla suddivisione dell'ambiente da simulare in poche regioni di dimensioni elevate, è probabile che risentano di picchi nei carichi di lavoro non prevedibili dovuti alla disomogenea

distribuzione delle particelle in regioni specifiche. Questo scenario è tipico nelle comunicazioni molecolari in prossimità dei nodi trasmettenti. Per arginare questa eventualità si è valutata l'idea di utilizzare delle griglie uniformi che suddividano il volume da simulare in regioni abbastanza piccole, in modo da ridurre il rischio di avere un volume sovraffollato rispetto agli altri. Ad ogni GPU viene quindi assegnata una frazione delle celle della griglia in modo proporzionale alle sue capacità di elaborazione mediante un approccio euristico, riassunto nei seguenti passi:

- 1) Viene costruito un array (*workdivision*) per la suddivisione del lavoro, nel quale l'ID di ogni GPU viene aggiunto un numero di volte proporzionale alla sua capacità di elaborazione in Gflops/s
- 2) Per ogni cella della griglia, viene calcolato un numero di hash h e la cella viene assegnata alla GPU corrispondente all'identificativo (ID) memorizzato alla posizione $m = h \bmod \text{workdivision.length}$ dell'array *workdivision*.

Per evitare che questo algoritmo impatti negativamente sul tempo di elaborazione complessivo, viene eseguito in parallelo mediante il multi-threading della CPU, in modo tale che ogni thread sia responsabile di una frazione uguale dell'input da processare. Ogni thread mappa ogni bounding sphere sulla griglia sottostante e conta quante combinazioni di oggetti/celle della griglia sono state assegnate ad ogni GPU. Basandosi su questo valore, un singolo thread calcola il numero totale di coppie oggetto/cella assegnato ad ogni GPU così come la posizione al quale ogni thread dovrebbe cominciare a scrivere queste coppie. Infine, i thread vengono rilanciati per rimappare ogni coppia oggetto/cella nell'array corrispondente, come mostrato in Figura 8.

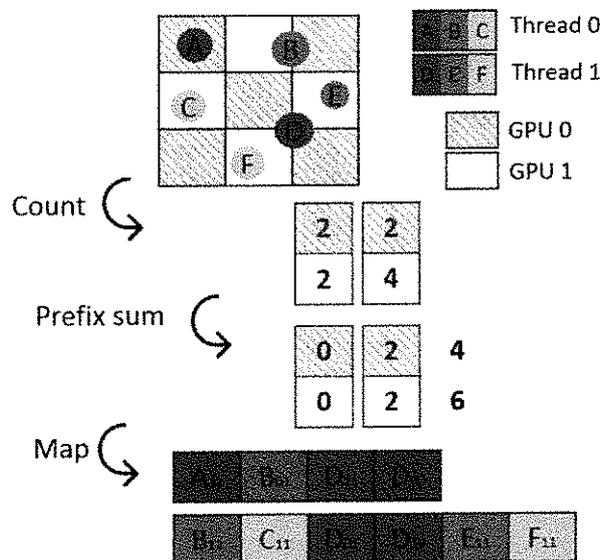


Figura 8. Suddivisione del lavoro tra le varie GPU mediante il multi-threading della CPU

La dimensione ottimale della cella non può essere la più piccola possibile, ma deve essere un compromesso in grado di garantire entrambi i requisiti di massimizzare il bilanciamento del carico tra le GPU e evitare che le bounding sphere si sovrappongano con un numero elevato di celle, causando la duplicazione dei dati delle collisioni e di conseguenza un trasferimento di dati maggiore tra la memoria centrale e quella delle GPU.

Il valore atteso di overhead, η , relativo alla dimensione dell'input, è definito come il numero non necessario di trasferimenti. Il limite superiore per η può essere determinato in questo modo:

- Per un oggetto di diametro d , vengono definite le variabili aleatorie X, Y, Z , come il numero di celle di dimensione R che si sovrappongono lungo i tre assi cartesiani x, y, z .
- Assumendo che la dimensione delle celle sia piccola a sufficienza per garantire una distribuzione grosso modo uniforme degli oggetti nelle singole celle, c'è una probabilità $p = \lfloor d/R \rfloor - d/R$ di sovrapposizione con $\lfloor d/R \rfloor$ celle lungo un asse e una probabilità $1 - p$ di sovrapposizione con $\lfloor d/R \rfloor + 1$ celle. Pertanto:

$$\begin{aligned} E[X] = E[Y] = E[Z] &= p \left\lfloor \frac{d}{R} \right\rfloor + (1 - p) \left(\left\lfloor \frac{d}{R} \right\rfloor + 1 \right) \\ &= \frac{d + R}{R} \end{aligned}$$

Dato che ognuna delle variabili è indipendente, si può scrivere:

$$E[XYZ] = \left(\frac{d + R}{R} \right)^3$$

- Gli oggetti più larghi si sovrapporranno con più celle, quindi nel caso peggiore, ogni oggetto è largo tanto quanto r_{max} , ovvero quanto l'oggetto più grande, risultando:

$$1 + \eta \leq \left(\frac{2r_{max} + R}{R} \right)^3$$

Risolvendola per la dimensione della cella R , si ottiene:

$$R \geq \frac{(\eta + 1)^{2/3} + (\eta + 1)^{1/3} + 1}{\eta} 2r_{max}$$

Pertanto, l'overhead può essere arbitrariamente piccolo incrementando opportunamente la dimensione delle celle, col rischio di avere uno sbilanciamento nel carico di lavoro tra le GPU.

Il simulatore BiNS2 è in grado di gestire anche i volumi di simulazione, inglobandoli all'interno di forme geometriche elementari. In tal modo è possibile simulare sia spazi illimitati che spazi confinati (ad esempio: una sezione di un vaso sanguigno può essere rappresentata da un cilindro al cui interno vengono dislocati tutti gli elementi della simulazione). In tal caso, la gestione delle collisioni con i bordi del volume devono essere gestiti in modo diverso, poiché non è agevole costruire delle celle in grado di contenere interamente tali oggetti, in quanto si otterrebbe sicuramente un carico di lavoro sbilanciato sulle GPU. Per evitare una simile eventualità, la CPU calcola, per ogni bounding sphere s il parametro $\lceil \log_2 r(s) \rceil$, monitorando quanto spesso occorre ogni valore calcolato. Ognuno di queste occorrenze viene confrontata con una soglia τ_{CPU} e solo gli oggetti con un raggio che occorre più frequentemente della soglia verranno processati dalle GPU. Gli altri oggetti (meno frequenti) verranno gestiti dalla CPU. Ciò è ragionevole, poiché essendo "più rari", non sarebbe conveniente pagare l'overhead dovuto alle JNI e al trasferimento dei dati dalla memoria del calcolatore a quello delle GPU, per eseguire l'elaborazione su pochi oggetti.

3. Risultati sperimentali

Le prestazioni offerte dagli algoritmi implementati sono state monitorate mediante una campagna di simulazioni effettuate con BiNS2.

Sono state effettuate diverse simulazioni che differivano per il numero di oggetti istanziati, per le loro dimensioni e per la loro distribuzione spaziale. La densità di oggetti è stata mantenuta costante pari al 5% del volume totale, mentre per la griglia è stata impostata una dimensione pari a 64 volte la dimensione dell'oggetto più grande (equivale a $\eta=9,6\%$).

Le simulazioni sono state eseguite su un elaboratore equipaggiato con un processore Intel Xeon E5645 e 4 schede grafiche Nvidia Geforce GTX 1080 ed i tempi di elaborazione sono mostrati in Figura 9.

In tutti i casi, i tempi di simulazione sono in gran parte dominati dall'overhead, legato all'avvio dei thread per la gestione dei vari device e alla latenza dovuta alla trasmissione dei dati, quando il numero di sfere è piccolo. Al crescere del numero di sfere, l'overhead diventa meno marcato poiché domina il tempo della fase di rilevazione delle collisioni. Come ci si poteva aspettare, anche il tempo per la costruzione della griglia cresce linearmente con il numero di oggetti.

Si è verificato anche che il tempo trascorso nella rilevazione delle collisioni per l'algoritmo approssimato LazyGrid (paragrafo 1.3) non risente di un'alta varietà di dimensioni per le sfere esaminate. Questo algoritmo si avvantaggia della mancanza di grosse agglomerazioni di oggetti, poiché il numero di oggetti presenti nella cella più grande è sempre inferiore a τ_1 (qui impostato a 100) e quindi

le celle non devono mai essere raffinate, consentendo di saltare la fase di costruzione delle griglie a grana più fine.

L'algoritmo EagerGrid (paragrafo 1.2), non si avvantaggia di questa situazione, e tutti e 5 i livelli della griglia devono essere costruiti quando sono presenti 5 diverse dimensioni delle particelle, causando tempi di rilevazione delle collisioni più elevati.

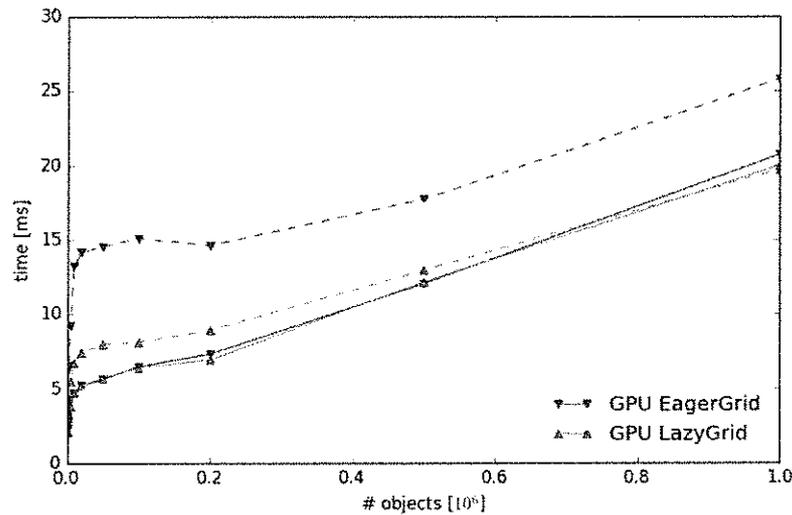


Figura 9. Tempo medio per la rilevazione delle collisioni di un numero variabile di oggetti con entrambi gli algoritmi analizzati. Con la linea piena è mostrato il caso di oggetti con raggio uguale, mentre con la linea tratteggiata è mostrato il caso per 5 diversi raggi

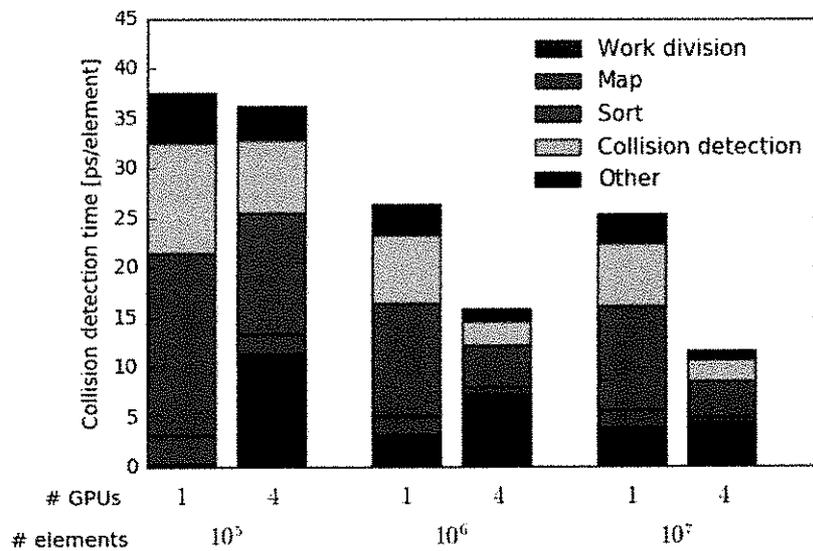


Figura 10. Tempo per la rilevazione delle collisioni al variare degli oggetti e del numero di GPU.

Sono stati analizzati nel dettaglio i tempi di elaborazione di ogni fase, in modo da riuscire ad ottimizzare le sezioni più critiche della simulazione. In Figura 10 sono mostrati i tempi per la rilevazione delle collisioni per ogni elemento al variare del numero di elementi e del numero di GPU utilizzate.

I risultati mostrano come il tempo speso per ogni elemento decresce al crescere del numero totale di elementi da elaborare. Questo è dovuto al fatto che per un basso numero di elementi vengono istanziati pochi thread e gran parte delle potenzialità di esecuzione parallela offerta dalle GPU non viene sfruttato (bassa occupazione delle risorse).

I nuovi algoritmi implementati (presentati nei paragrafi precedenti) sono stati confrontati con l'algoritmo classico di BiNS2, che utilizza un'altra tecnica per la segmentazione dello spazio, basata sugli Octree. In questa comparazione è stato considerato uno scenario tipico delle comunicazioni molecolari, in cui gli elementi da controllare non sono distribuiti in modo uniforme nello spazio (ad esempio a causa di una emissione di molecole da parte di un nodo trasmittente). In questo scenario, il numero di interazioni tra le molecole è molto elevato nei primi secondi di simulazione, per poi decrescere man mano che questi si sparpagliano nello spazio.

La prima tipologia di simulazione monitora il tempo medio necessario per rilevare le collisioni sia con BiNS2 che con l'algoritmo LazyGrid nel caso in cui venga emesso un singolo burst di $5 \cdot 10^5$ molecole di 10 differenti dimensioni.

Per entrambi gli algoritmi il tempo di rilevamento decresce rapidamente (Figura 11).

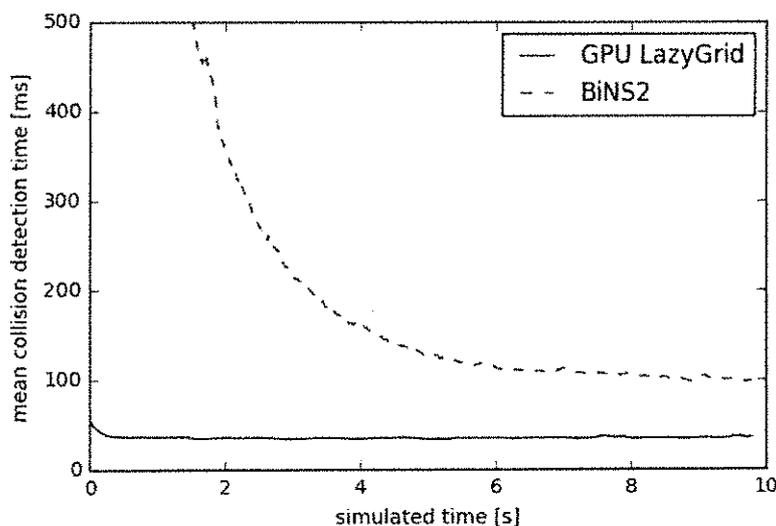


Figura 11. Tempo medio per la rilevazione delle collisioni

In Figura 12 è mostrato il guadagno dell'algoritmo LazyGrid rispetto a BiNS2 all'aumentare del numero di elementi e del tempo di simulazione. I risultati mostrano come l'approccio LazyGrid risulti meno efficiente di BiNS2 quando il numero di interazioni tra gli elementi è relativamente basso (ovvero quando ci sono pochi elementi e quando sono poco raggruppati). Come ci si poteva aspettare, il guadagno diventa più marcato quando si simulano scenari più complessi composti da un elevato numero di elementi, mostrando un guadagno superiore anche di un fattore 100 quando aumenta considerevolmente anche il numero di dimensioni diverse per gli elementi simulati (Figura 13).

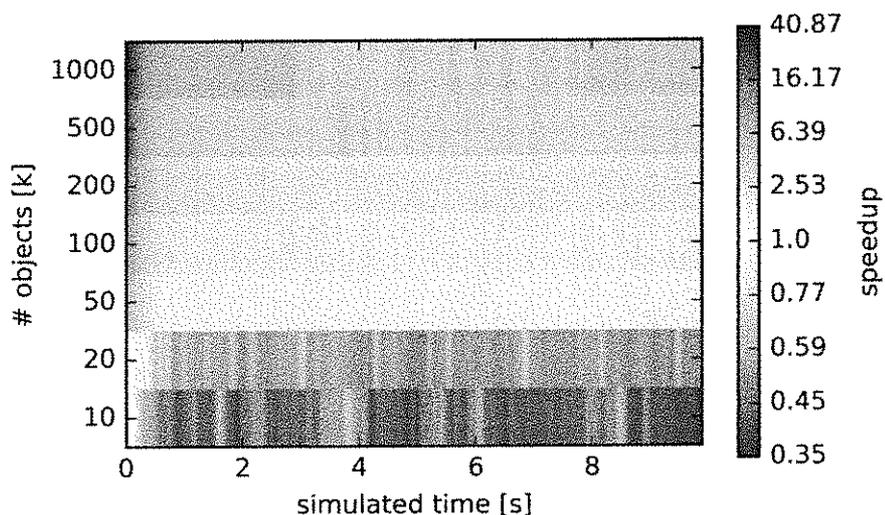


Figura 12. Rapporto tra LazyGrid e BiNS2 al variare del numero di elementi e del tempo di simulazione.

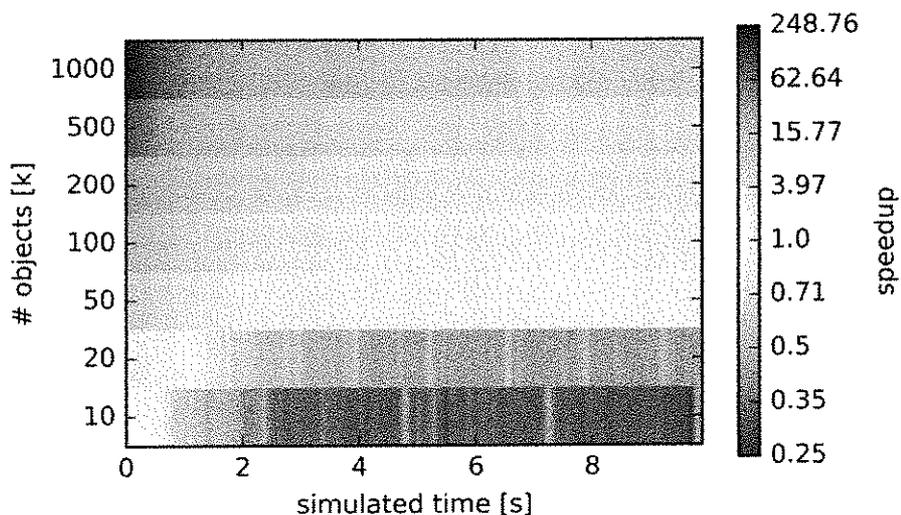


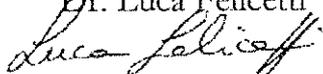
Figura 13. Rapporto tra LazyGrid e BiNS2 al variare del numero di elementi e del tempo di simulazione per 100 differenti dimensioni.

4. Pubblicazioni

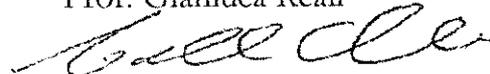
- [1] P. Stroobant, L. Felicetti, W. Tavernier, D. Colle, M. Femminella, G. Reali and M. Pickavet, "Fast Collision Detection for Nanosimulators", 3rd Workshop on Molecular Communications, Ghent, Belgium, 4th-6th April 2018
- [2] P. Stroobant, L. Felicetti, W. Tavernier, D. Colle, M. Femminella, G. Reali and M. Pickavet, "Fast Simulation of Interacting Carriers in Nanosimulators", NanoCom '18 Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Conference on Nanoscale Computing and Communication, Reykjavik, Iceland, September 5-7, 2018
- [3] P. Stroobant, L. Felicetti, W. Tavernier, D. Colle, M. Femminella, G. Reali and M. Pickavet, "Parallel Algorithms for Simulating Interacting Carriers in Nanocommunication", in press on Nano Communication Networks Journal 2018 Elsevier;
- [4] L. Felicetti, M. Femminella and G. Reali, "Modeling approaches for simulating molecular communications", In: Shen X., Lin X., Zhang K. (eds) Encyclopedia of Wireless Networks. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32903-1_232-1

Perugia 16/11/2018

L'Assegnista

Dr. Luca Felicetti


Il Tutor

Prof. Gianluca Reali




Assegno di ricerca per il progetto di ricerca dal titolo:

*METODI INNOVATIVI PER DIAGNOSI PRECOCE DI GUASTI SU
MACCHINE EOLICHE E OTTIMIZZAZIONE DELLA VITA A
FATICA DEI COMPONENTI*

RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ SVOLTE

Perugia, 14 Novembre 2018

Ph.D. Emanuele Piccioni



INTRODUZIONE.....	3
1. ACQUISIZIONE E ANALISI DATI – ANNIFO (PG).....	5
1.1 Risultati: Frequenza Naturale.....	9
1.2 Risultati: Coefficiente Di Smorzamento.....	12
1.3 Risultati: Velocita' Di Rotazione	13
1.4 Conclusioni E Indagini Future	14
2. TEST IN LABORATORIO E MODELLAZIONE NUMERICA.....	15
2.1 Galleria del vento	16
2.2 Banco prova.....	25
3. VALIDAZIONE SU GRANDI MACCHINE.....	27
4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	31



INTRODUZIONE

Il progetto di ricerca “METODI INNOVATIVI PER DIAGNOSI PRECOCE DI GUASTI SU MACCHINE EOLICHE E OTTIMIZZAZIONE DELLA VITA A FATICA DEI COMPONENTI” ha previsto nel corso dell’anno di ricerche condotte molteplici attività che saranno descritte nella presente relazione.

Le attività svolte fanno parte del progetto di ricerca OPTO WIND finanziato con fondi del bando 2017 della Fondazione Cassa di Risparmio di Perugia.

In tale progetto sono state analizzate le caratteristiche di turbine eoliche di piccola-media taglia, al fine di sviluppare metodologie di diagnosi dei guasti che impiegassero misure non invasive.

Per lo sviluppo di tali metodologie sono state condotte sia esperienze su campo che esperienze di laboratorio sviluppate congiuntamente a simulazioni aeroelastiche, mediante le quali è stato possibile validare le tecniche messe a punto e definire strategie di impiego.

In particolare il progetto OPTO WIND (Operational Performances and Technical Optimization of WIND turbines) si proponeva lo scopo di maturare, acquisire ed applicare nuove conoscenze per rendere più facile ed economico il mantenimento strutturale e dei componenti meccanici di macchine eoliche di piccola-media taglia mediante la modellazione delle condizioni operative di carico.

In generale le macchine eoliche, convertendo energia meccanica in elettrica, sono per loro natura soggette a usura e affaticamento degli elementi meccanici. Tale caratteristica, unita alla discontinuità della risorsa, è la causa potenziale di due sorgenti di danno economico: la mancata produzione in caso di guasti e gli elevati costi degli interventi in caso di rotture. L’intervento preventivo sulle macchine consente la limitazione dei danni. Per le macchine di grande taglia si indagano da tempo metodi per la manutenzione predittiva, mentre per macchine di piccola taglia (fino a 1 MW di potenza) non si hanno metodi affermati per la previsione dei guasti.

Le grandi macchine eoliche sono dotate generalmente di meccanismi di regolazione di pitch, yawing, ed elementi soggetti a di fatica, quali rotismi e cuscinetti. Tali macchine in genere sono dotate di metodi di monitoraggio strutturale che però risulterebbero troppo onerosi se installati su macchine di piccola-media taglia per le quali in genere si rileva un numero minimo di parametri funzionali. Si ha pertanto la necessità di individuare indicatori significativi semplici per la valutazione predittiva dei guasti.

Sono stati sviluppati modelli che consentano di caratterizzare le componenti delle turbine, con particolare riferimento al loro comportamento a fatica. Scopo del progetto era l’individuazione di metodi per la pianificazione preventiva di operazioni di manutenzione la massimizzazione della produzione di energia.



Il progetto ha posto l'attenzione sull'analisi delle condizioni operative di funzionamento, procedendo da un lato sull'analisi di dati sperimentali e dall'altro sulla modellazione numerica del comportamento delle macchine, rendendo possibile un confronto tra i risultati ottenuti.

OPTO WIND si è proposto di ricercare soluzioni innovative basate su modelli di evoluzione dei carichi e della sollecitazione da vibrazione, al fine di disporre di strumenti numerici semplificati per la previsione delle criticità per macchine di piccola taglia e l'ottimizzazione dell'efficienza e del ciclo di vita operativo.

OPTOWIND si è articolato in attività in campo, con l'applicazione di tecniche di misura e sensoristica su turbine in fase operativa, e in attività di laboratorio, con l'impiego di strumenti e turbine di piccola taglia in galleria del vento. I risultati sperimentali sono stati confrontati con modelli numerici aeroelastici appositamente realizzati e in grado di riprodurre i risultati delle misure e prevenire malfunzionamenti o guasti.

Se da un lato la misura sul campo ha mostrato molte difficoltà operative, soprattutto per le condizioni di funzionamento delle turbine site in località Annifo nel comune di Foligno (PG), dall'altro i test in galleria del vento e al banco prova hanno permesso di elaborare modelli capaci di produrre una buona corrispondenza con i dati sperimentali, consentendo di individuare metodologie e strategie per l'estensione su scala reale delle tecnologie e delle conoscenze impiegate.

I risultati del progetto hanno mostrato come sia possibile interpretare i dati delle misure mediante modelli. Tale risultato ha permesso di definire i metodi per la diagnosi di alcuni malfunzionamenti, che permetteranno una gestione ottimizzata dei campi eolici di piccola media taglia e la programmazione predittiva del mantenimento strutturale.

Le attività svolte sono discusse nei seguenti capitoli.

- Nel Cap.1 si descrivono le attività di acquisizione e analisi dati condotte su turbine di media taglia situate in località Annifo (PG).
- Nel Cap.2 sono descritte le misure di laboratorio, i risultati ottenuti e la modellazione numerica.
- Nel Cap.3 sono descritte le attività di acquisizione e analisi dati condotte su turbine di grande taglia.
- Nel Cap.4 sono effettuate alcune valutazioni conclusive sull'attività di ricerca svolta.



1. ACQUISIZIONE E ANALISI DATI – ANNIFO (PG)

Il progetto intendeva definire metodologie di diagnosi di guasti o malfunzionamenti di macchine eoliche di piccola e media taglia mediante l'impiego di sensoristica in grado di monitorare le condizioni strutturali delle turbine.

Le turbine eoliche di piccola e media taglia non sono dotate di sensoristica e sistemi di acquisizione in grado di fornire dati e indicazioni sulle condizioni di funzionamento in tempo reale, come accade invece per turbine di grande taglia. Il costo delle strumentazioni e dei sistemi di acquisizione sarebbe infatti troppo oneroso per poter essere sostenibile per piccole/medie turbine. Tale caratteristica ha pertanto posto la problematica di ideare metodologie non invasive in grado di fornire indicazioni sullo stato di funzionamento delle macchine.

A tal fine è stata predisposta una campagna di misure su macchine eoliche aventi potenza nominale di 200 kW, site nella località Annifo nel comune di Foligno (PG). Le macchine sono posizionate in due siti denominati Capacqua e Croce Fumeggia.

Tale campagna è stata volta alla messa a punto di tecniche e tecnologie per l'acquisizione di dati di vibrazione, per la diagnosi precoce di guasti. Le acquisizioni nel sito di Annifo sono state possibili grazie alla disponibilità della società Gemina che ha messo a disposizione gli impianti, i locali e i dati per lo sviluppo delle metodologie sperimentali, delle tecniche di analisi e la calibrazione della strumentazione.

È stato possibile effettuare molteplici campagne di misura, durante tutto l'arco temporale del progetto. I test effettuati hanno permesso di sviluppare, definire e standardizzare le tecniche sperimentali agendo in maniera diretta su alcuni parametri di controllo della macchina.

Mediante le prove in campo è stato possibile sviluppare la metodologia sperimentale corretta per la misura dei parametri meccanici e vibrazionali. In particolare i test hanno previsto la misura di segnali accelerometrici. Sono state messe a punto tecniche sperimentali e metodologie adeguate per l'analisi dei dati: la valutazione delle frequenze naturali, il monitoraggio dello stato degli ingranaggi, la valutazione del disallineamento mediante la correlazione tra coefficiente di potenza e intensità delle vibrazioni, le vibrazioni trasmesse alla fondazione.

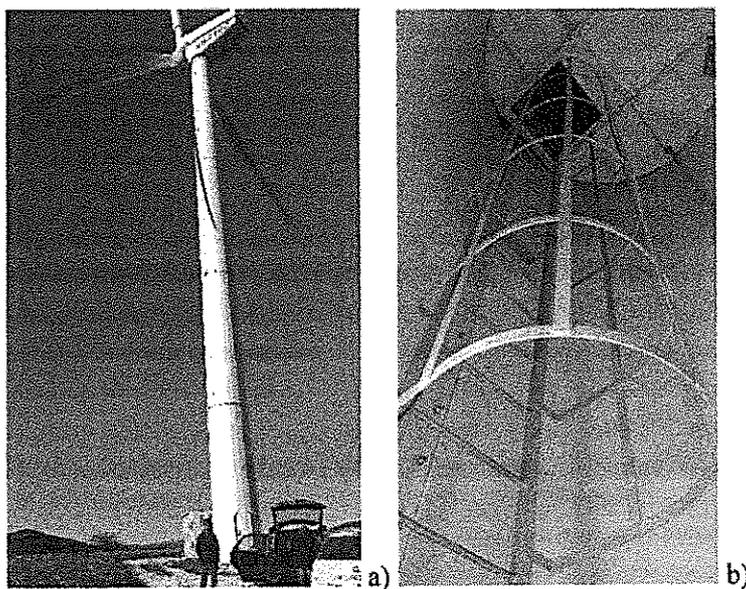


Figura 1: a) Turbina eolica di Capacqua; b) interno della macchina eolica

Le macchine sono state interessate da eventi estremi che ne hanno compromesso il funzionamento. Gli eventi occorsi ne hanno decretato differenze di funzionamento a parità di condizioni ambientali.

Tale caratteristica risulta importante banco di prova per il confronto di metodologie sperimentali di caratterizzazione del comportamento vibrazionale.

Nelle seguenti figure sono mostrate le condizioni operative, la stazione di acquisizione dati montata su campo, la stazione di alimentazione delle turbine e la stazione anemometrica per la rilevazione delle condizioni di ventosità.

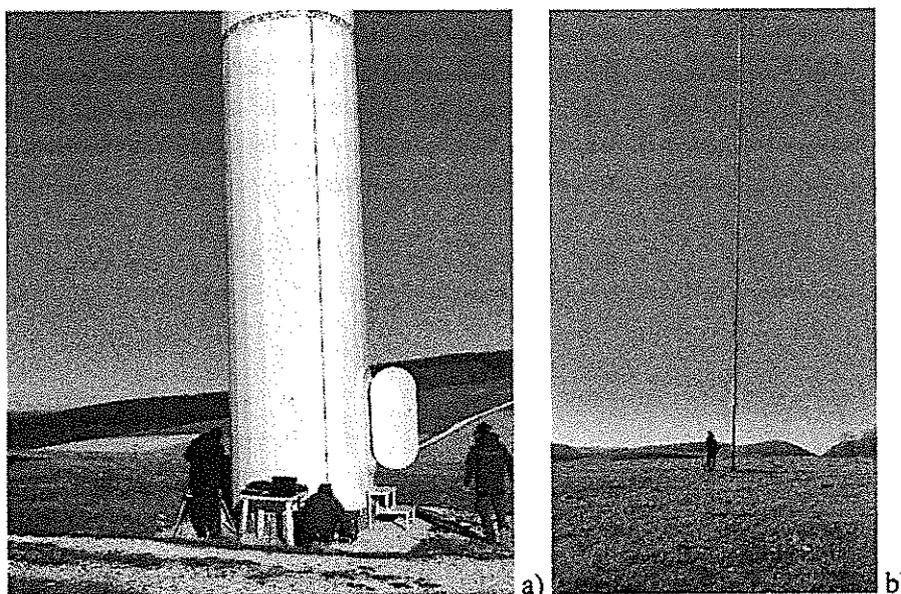


Figura 2: a) Stazione di acquisizione dati b) stazione anemometrica

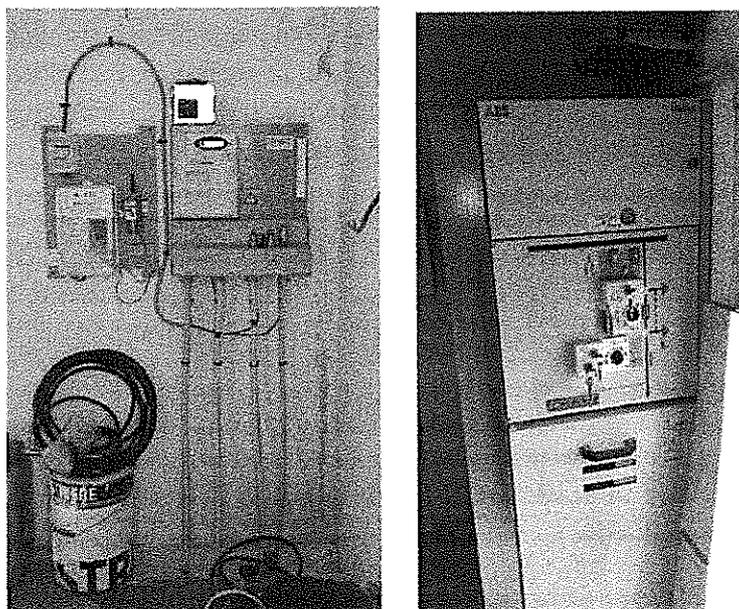


Figura 3: Stazione di alimentazione

Nelle figure che seguono sono mostrate le strumentazioni impiegate, e la loro installazione sulle torri anemometriche:

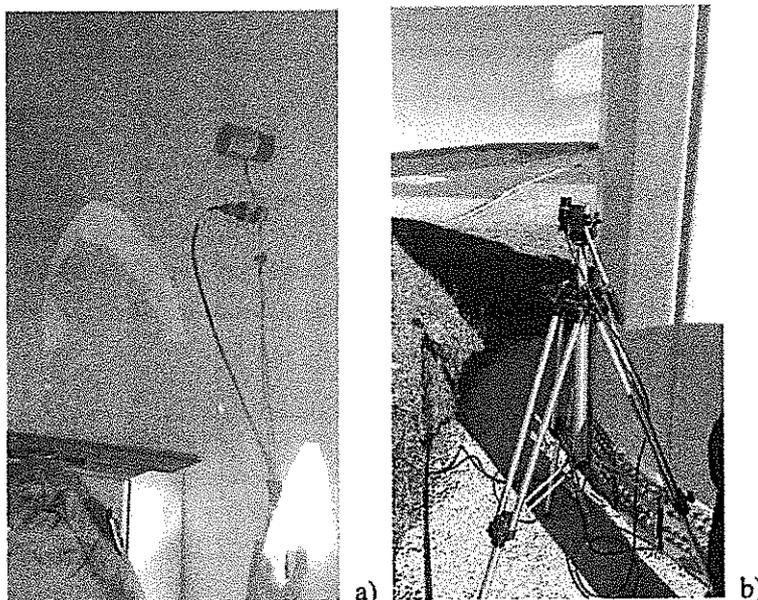


Figura 4: a) Accelerometri installati all'interno della torre; b) acquisizione mediante telecamera ad alta velocità

La campagna di misura svolta nella località Annifo ha permesso di mettere a punto le tecniche di acquisizione e di definire i parametri necessari al monitoraggio delle piccole turbine eoliche. Tale campagna è stata funzionale pertanto sia alle esperienze di laboratorio, che hanno permesso la caratterizzazione delle tecniche e lo sviluppo di modelli numerici, sia alle esperienze successive svolte su grandi macchine in fase operativa, volte alla validazione delle metodologie sviluppate.



Nel caso di Annifo le turbine sono poste in un terreno molto complesso, a circa un km di distanza, con condizioni orografiche e anemologiche differenti. Dal punto di vista strutturale inoltre le turbine sono caratterizzate da una situazione molto complessa, in quanto a causa di eventi estremi si sono verificati traumi violenti alle strutture. In particolare una turbina era stata interessata dal distacco del rotore, con la possibile compromissione dei parametri strutturali.

Con tali condizioni al contorno si è inteso acquisire i dati di accelerometri posti in diverse posizioni sulla torre, al fine di caratterizzare dal punto di vista strutturale le due macchine. In particolare è stata valutata la frequenza naturale delle macchine, per verificare se esistessero differenze tra le due macchine che potessero fornire indicazioni in merito alle condizioni strutturali.

La procedura sperimentale è stata messa a punto in diverse sessioni di acquisizione.

Sono state eseguite prove accelerometriche, che hanno permesso la valutazione delle vibrazioni della macchina in termini di accelerazioni. Nelle prove effettuate è stato impiegato utilizzato il sistema di acquisizione PROSIG.

Per l'alimentazione delle varie apparecchiature, è stato possibile collegarsi direttamente alla cabina elettrica di ciascuna delle due turbine (fig. 3).

Per la turbina Fumeggia sono state effettuate anche delle riprese con telecamera ad alto numero di frame (fig. 4), al fine di poter implementare un metodo numerico di stima della velocità di rotazione della macchina.

Si sottolinea come le prove siano state condotte al fine di definire delle metodologie di acquisizione che fossero indipendenti dal tipo di strumentazione in dotazione alla macchina: sono stati messi a punto metodi di acquisizione non invasivi e replicabili su differenti tipologie di turbine.

Per ogni misura sono state impiegate tre coppie di accelerometri caratterizzati da diversa risposta in frequenza, montati tra loro con un angolo di 90° . In particolare, tre accelerometri sono stati installati in direzione approssimativamente parallela a quella della navicella (direzione X), gli altri tre in direzione ortogonale (direzione Y). Per il fissaggio sono state utilizzate delle basette magnetiche.

Per la macchina di Fumeggia sono state effettuate delle prove sia alla base che a metà altezza della torre, mentre per Capacqua sono state effettuate solo quelle in quota.

Per Fumeggia è stato monitorato sia il funzionamento a regime della macchina, che quello in transitorio (brusco bloccaggio del rotore), mentre per Capacqua è stato effettuato solo quest'ultimo tipo di prova.

Le prove eseguite sono state un primo approccio all'analisi diagnostica delle macchine eoliche; in particolare si è cercato di realizzare delle metodologie da applicare in modo generale anche su altre macchine. I principali obiettivi delle prove possono essere così esposti:

1. caratterizzazione della torre, in termini di frequenza fondamentale;
2. caratterizzazione della torre, in termini di coefficiente di smorzamento;
3. misura di dati sperimentali da confrontare con i risultati ottenuti da un modello aeroelastico di simulazione in fase di messa a punto;
4. rilevamento indiretto della velocità di rotazione.



1.1 Risultati: Frequenza Naturale

Le turbine sono dotate di un sistema di frenata improvvisa, che sfrutta il tip delle pale (Fig.4).



Figura 4: frenata della macchina colica

Tramite la frenata improvvisa è stata prodotta un'eccitazione ad ampio spettro in frequenza. Come conseguenza, la torre inizia a vibrare con tutte le sue frequenze naturali, ma con il tempo permangono solo quelle più basse (più difficili da smorzare).

Analizzando tali segnali nel dominio di Fourier è possibile studiare il loro contenuto in frequenza, ovvero ricercare quelle frequenze che rappresentano le proprietà fisiche e geometriche della struttura. Lo spettro è riportato in fig.5 (ascissa: frequenza, ordinata: ampiezza dell'accelerazione) per le due macchine (per quella di Capacqua sono riportate 3 prove, le quali non differiscono sostanzialmente le une dalle altre): si può osservare che per entrambe le torri è possibile stimare una frequenza naturale attorno ad 1 Hz (all'incirca 0,9281 Hz). I risultati delle due torri non sembrano differire in maniera apprezzabile. Ciò significa che l'evento traumatico a cui è stata sottoposta una delle due macchine non sembra aver inciso in maniera particolare su questo parametro; sarebbe stato molto pericoloso se infatti la frequenza naturale della turbina accidentata si fosse spostata in maniera significativa, andando ad avvicinarsi alla frequenza di funzionamento della macchina, con il reale pericolo di incorrere in problemi di risonanza. Questa metodologia di stima della frequenza naturale risulta essere di grande importanza, dato che a partire da essa è possibile ricavare importanti informazioni necessarie allo sviluppo di modelli numerici di previsione del comportamento della macchina, soprattutto in termini di vibrazioni. Inoltre la metodologia usata può essere applicata senza particolari problematiche, evidenziando quindi l'importante funzione di messa a punto di tecniche sperimentali che è stata portata avanti con il presente progetto.

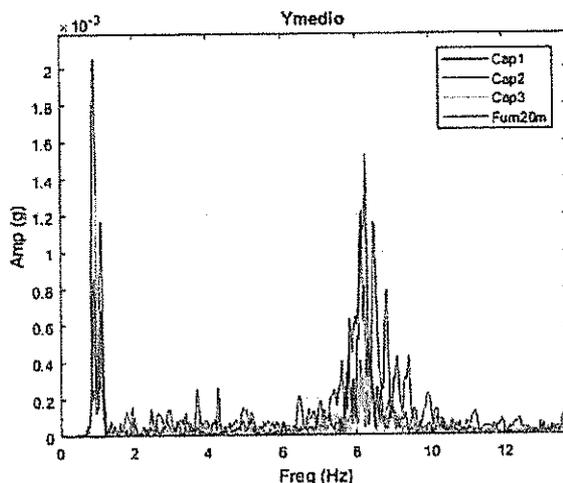


Figura 5 Spettro di frequenza delle turbine di Annifo: Cap= Capacqua, Fum = Fumeggia

Sono state inoltre implementate delle analisi congiunte in tempo e frequenza per osservare l'andamento temporale del contributo in frequenza del segnale. A tale scopo è stato impiegato il modello Wavelet, che permette di migliorare l'antitesi tra la risoluzione temporale e quella in frequenza. I risultati di tale analisi sono riportati in figura 6, in cui è possibile ravvisare il contributo della frequenza naturale tra i 10 e 30 secondi. Per l'interpretazione di altri contributi, come quello a 8 Hz, occorrerebbe avere a disposizione nel dettaglio molti parametri della macchina (in particolare i componenti del gearbox, responsabili dei contributi ad alta frequenza), attualmente non disponibili.

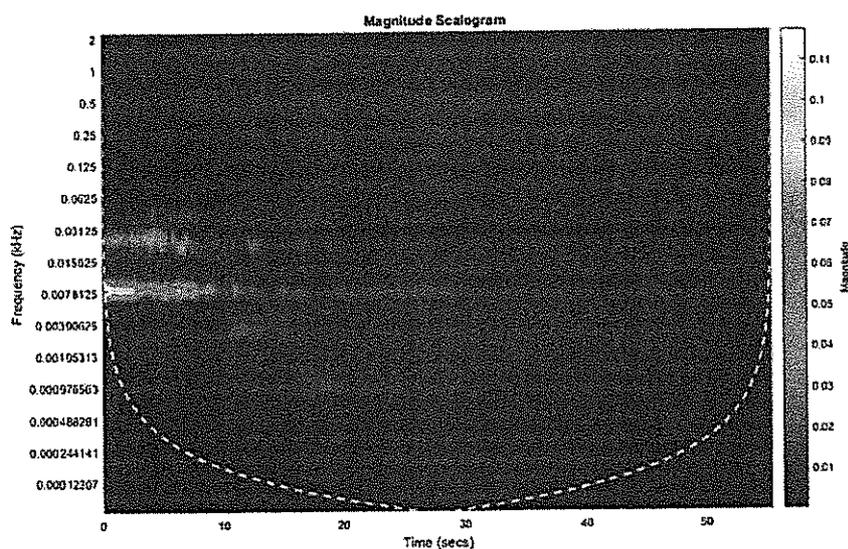


Figura 6: analisi Wavelet della frequenza

Le prove realizzate a diverse quote presso la macchina di Fumeggia hanno mostrato che sia possibile calcolare il valore della frequenza naturale anche a base torre, ma il segnale non ha un sufficiente contributo energetico per poter essere sufficientemente analizzato in ampiezza. Con tali indicazioni si è concluso che per ottenere risultati consistenti è necessario installare gli strumenti ad una elevazione quanto maggiore possibile, al fine di ottenere un alto rapporto segnale/rumore. In



Fig. 7 e 8 sono riportati due spettri a titolo esemplificativo, in cui è evidente la qualità del segnale acquisito a 20m di altezza rispetto a quella a base torre.

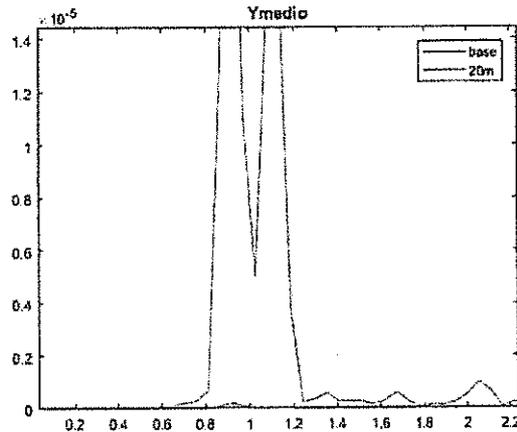


Figura 7: spettri a confronto: a 20 m e a base torre

In fig. 8 compare un picco a circa 3.5 Hz che può essere interpretato come quello relativo alla frequenza naturale delle pale: in letteratura si riporta per le pale prive di extension la frequenza naturale in direzione flapwise pari a 3.05 Hz.

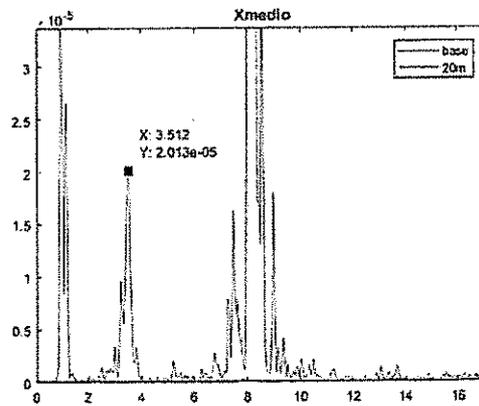


Figura 8: confronto tra spettri a 20 m e base torre

Nelle prove a regime realizzate a Fumeggia si è notata una notevole influenza di un'armonica ad alta frequenza (387 Hz). La velocità di rotazione delle pale era pari a 27 giri al minuto. L'armonica ad alta frequenza è un multipli della velocità di rotazione:

- $387/(27/60)=860$ volte la velocità di rotazione.

Per un'analisi dettagliata dei vari picchi osservabili nei grafici della frequenza occorrerebbe però avere maggiori informazioni circa i principali componenti della turbina eolica (rotore, moltiplicatore, generatore, cuscinetti, ...). In tal modo si sarebbe potuto discriminare la causa di ciascun picco delle trasformate di Fourier e, confrontando le ampiezze delle due macchine, si sarebbe potuto esprimere un giudizio circa lo stato di danneggiamento delle singole componenti. Tale approccio pertanto è stato impiegato in esperienze di laboratorio, come sarà dettagliato al capitolo successivo, impiegando una piccola turbina per la quale si avevano a disposizione le informazioni necessarie.



1.2 Risultati: Coefficiente Di Smorzamento

A causa dell'evento traumatico occorso a una delle turbine sono state effettuate misure imponendo un segnale impulsivo alle macchine mediante una brusca frenata, al fine di valutare con misure accelerometriche il coefficiente di smorzamento mediante la valutazione del decadimento del segnale. Dopo aver filtrato il segnale con un filtro digitale passa-banda ed aver isolato la porzione di ciascuna prova relativa all'oscillazione libera della torre, in ambiente Matlab si è provveduto ad involuppare il segnale così ottenuto, centrato sul contributo in frequenza della prima frequenza naturale.

I grafici sottostanti riportano alcuni esempi dei risultati delle prove di smorzamento indicando in ascissa il tempo ed in ordinata l'ampiezza del segnale "trattato", ovvero filtrato in modo da evidenziare le frequenze più vicine a quella naturale. Il segnale di interesse, corrispondente alle oscillazioni libere conseguenti la frenata, è stato evidenziato in rosso.

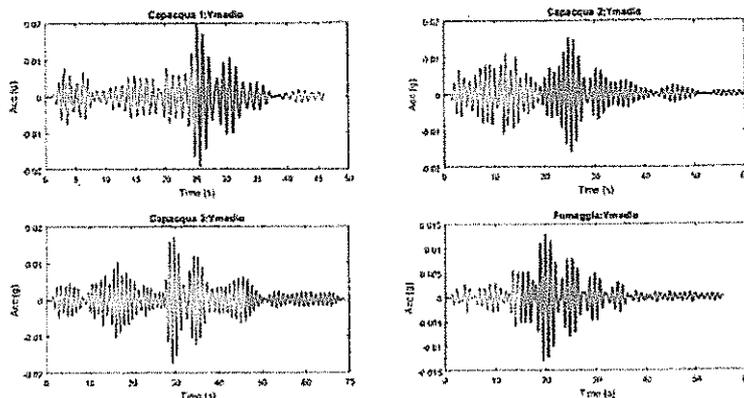


Figura 9: smorzamento dopo frenata (segnale impulsivo)

Per la stima dello smorzamento si è usato il modello ad 1 gdl smorzato per attrito viscoso. Si è calcolato tale smorzamento per ciascun segnale acquisito da ogni accelerometro, per entrambe le turbine; il risultato è riportato nella figura sottostante.

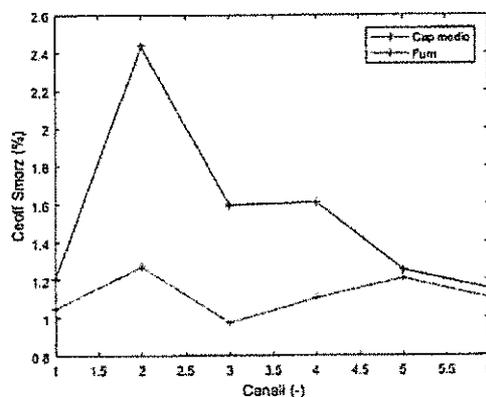


Figura 10: confronto del coefficiente di smorzamento tra turbine

I coefficienti di smorzamento medi differiscono tra le due turbine (1.1% per Fumeggia, 1.6% per Capacqua), ma le difficoltà operative riscontrate fanno ritenere di non poter dedurre conclusioni esaustive sulle capacità diagnostiche delle metodologie impiegate, che necessitano di ulteriori verifiche.

Un'altra metodologia si è basata sulla definizione di decremento logaritmico per vibrazioni libere di un oscillatore smorzato a 1gdl; dopo aver isolato e filtrato il segnale si è applicato un algoritmo di conteggio dei picchi decrescenti, da cui è stato ricavato il valore dello smorzamento.

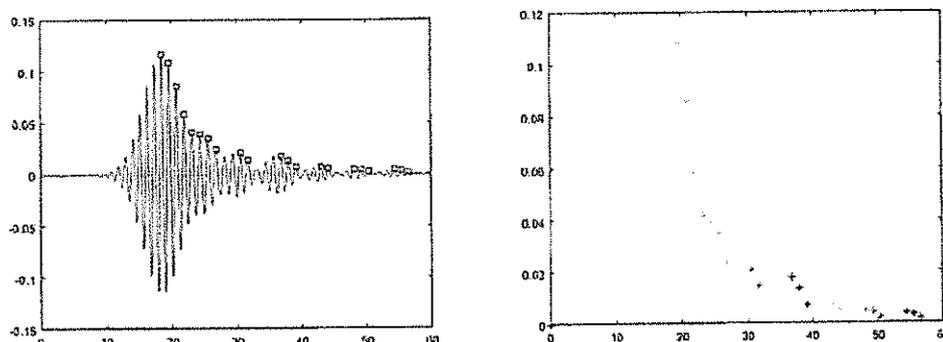


Figura 11: metodologia di conteggio dei picchi per la valutazione dello smorzamento

Il confronto tra le torri di Fumeggia e Capacqua sembra indicare che quest'ultima torre abbia uno smorzamento inferiore alla prima.

In ogni caso si tratta di un primo approccio a questa tecnica; risultati più sicuri possono essere ottenuti ad esempio effettuando un'analisi modale operativa con la torre in frenata: si otterrebbero (strumentando la torre su tutto il suo asse) i modi di vibrare, le frequenze naturali e gli smorzamenti modali di più modi, tramite lo studio della risposta in frequenza.

Le indagini condotte hanno però permesso di individuare le metodologie di indagine e di definire le procedure operative.

1.3 Risultati: Velocità Di Rotazione

Sono stati acquisiti vari filmati (ad alta velocità, nell'ordine di 50-100 fotogrammi per secondo) tramite un'apposita fotocamera Ximea, gestita tramite il toolbox Image Acquisition presente nell'ambiente Matlab.

Scopo della prova era quello di ricavare il numero di giri della turbina tramite una acquisizione video, in quanto non era disponibile il segnale tachimetrico della macchina.



Figura 12: immagine acquisita tramite fotocamera

In fase di postprocessing, è stato realizzato un apposito script: preso il primo frame, si sono confrontati tutti gli altri, fotogramma per fotogramma, con il primo, ottenendo un indice di somiglianza che raggiungeva dei punti di massimo locale in corrispondenza di un terzo di rotazione. Essendo noto il periodo tra due fotogrammi e calcolando il numero di fotogrammi tra due massimi consecutivi, è stato possibile ottenere una buona stima della velocità di rotazione.

Il metodo si è rivelato robusto nel funzionamento a regime, mentre richiede delle precauzioni soprattutto nella parte terminale delle frenate. Nel grafico sottostante si riporta il valore degli rpm così calcolati in funzione del tempo; si osservi come esso abbia una oscillazione molto contenuta attorno al valore medio indicato con la linea rossa.

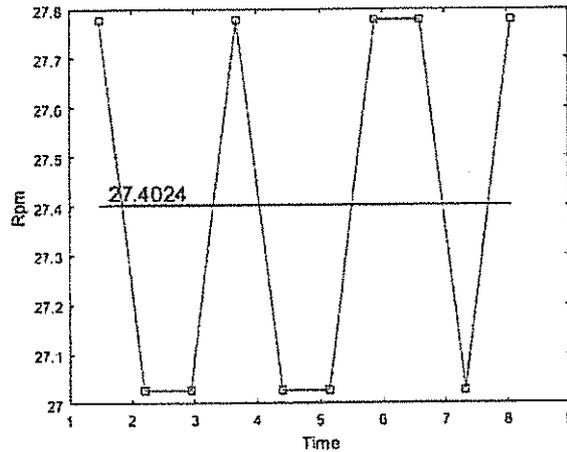


Figura 13: RPM calcolati in base alle acquisizioni della telecamera

Un possibile sviluppo del metodo consiste nell'utilizzo di un sistema di trigger, in modo da sincronizzare i dati accelerometrici con quelli ottenibili dal metodo ottico descritto: in tale modo si potrebbe avere un riferimento in termini di velocità di rotazione, senza dover interferire con la strumentazione della macchina.

1.4 Conclusioni E Indagini Future

Con la campagna di prove sperimentali condotta è stato possibile sviluppare nuove metodologie di indagine del comportamento dinamico delle macchine.

Tuttavia si sono evidenziati limiti ad esempio nel basso rapporto segnale-rumore (soprattutto relativamente al segnale acquisito a base torre)

Le condizioni operative inoltre hanno comportato una bassa caratterizzazione statistica del segnale (dovuta alla circostanza di aver effettuato misure puntuali e non continue nel tempo). Le problematiche relative al funzionamento delle macchine hanno comportato difficoltà per il monitoraggio delle condizioni operative.

Un possibile sviluppo pertanto è quello di realizzare un sistema fisso di acquisizione (lasciando la strumentazione necessaria all'interno della macchina) controllabile da remoto.

Ciò porterebbe anche l'indubbio vantaggio di poter studiare in modo migliore anche i segnali prodotti dall'accoppiamento elettromeccanico (ingranaggi, cuscinetti, etc), permettendo di sviluppare metodologie di diagnosi precoce di difetti e danneggiamenti degli organi elettromeccanici.



2. TEST IN LABORATORIO E MODELLAZIONE NUMERICA

Le difficoltà operative su campo dovute anche allo stato di funzionamento delle macchine hanno permesso brevi periodi di acquisizione. Le tecniche sviluppate sono quindi state applicate in test di laboratorio, dove la gestione della macchina garantisce un maggiore livello di controllo, effettuando test sia in galleria del vento che su banco prova. Sono quindi state implementate nuove metodologie che permettessero, attraverso l'analisi sperimentale di dati e la validazione di modelli, lo sviluppo delle soluzioni tecnologiche adeguate per la precoce diagnosi del guasto. È stato anche realizzato un modello per la riproduzione del funzionamento non stazionario.

L'impiego di piccole turbine in generale è destinato alle aree urbane, ove la risorsa eolica risulta non stazionaria su scale di tempo molto brevi. Questo rende quasi impossibile la totale conversione della risorsa a causa del fatto che la turbina non è capace di seguire in modo ottimale le variazioni del vento bilanciando esattamente la produzione e il carico. Perciò l'analisi e lo sviluppo di sistemi di conversione specificamente adatti per le aree urbane devono essere affrontati con un approccio diverso rispetto ai grandi impianti eolici. Si è pertanto definito un nuovo approccio sperimentale e numerico per lo sviluppo e la caratterizzazione di piccole turbine eoliche ad asse orizzontale. Tale metodo mira a studiare come la turbina e il sistema di controllo sono in grado di reagire a un vento in regime turbolento controllato. Il regime di ventosità è stato appositamente generato nella galleria del vento "R. Balli" presso l'Università di Perugia.

Il nuovo approccio sperimentale riesce a dare informazioni utili su come il design del sistema può essere adattato a specifiche condizioni urbane, migliorando le prestazioni aereodinamiche e della dinamica del sistema di controllo.

Le piccole turbine eoliche [16] sono soggette a carichi molto complessi per diverse ragioni (velocità di rotazione dell'albero altamente variabile [4], improvvisi cambi di direzione del vento [11], turbolenza [8,10], raffiche [1] specialmente in ambiente urbano [14], etc.), per questo una profonda analisi è necessaria per capire il loro comportamento dinamico così da assicurare un'accettabile efficienza nella conversione dell'energia cinetica del vento [6,13]. La completa conversione è quasi impossibile perché la turbina eolica non riesce a seguire in modo ottimale le variazioni del vento bilanciando esattamente la produzione e il carico: questo è supportato, ad esempio, in [2], dove la capacità di una turbina di adattare efficacemente la sua velocità rotazionale per soddisfare una strategia di controllo prescritta è studiata in funzione di due parametri: l'accelerazione del rotore richiesta e l'accelerazione del rotore disponibile. La metodologia individuata permette di stimare un la quantità di energia che una turbina eolica può generare in un sito specifico, basandosi sulle scale di tempo caratteristiche della turbina eolica e dalle proprietà del vento nel sito. Un simile ragionamento è stato proposto in [15], dove la riduzione dinamica della potenza di turbine eoliche è studiata numericamente e sperimentalmente, ipotizzando l'utilizzo di una strategia ottimale di controllo del momento torcente in stato stazionario. Per quello che riguarda lo studio del comportamento dinamico delle turbine eoliche, i test in galleria del vento hanno l'inconveniente che le serie temporali di vento comunemente generate non sono molto rappresentative delle condizioni ambientali reali alle quali le turbine sono soggette (specialmente in contesti urbani). D'altra parte i test hanno il grosso vantaggio della ripetibilità e della possibilità di controllare le condizioni del vento. Inoltre, disporre di affidabili frameworks computazionali per la caratterizzazione il comportamento dinamico delle turbine eoliche sta diventando sempre più importante. Si è inteso pertanto validare i modelli numerici con i test in galleria del vento, per poterne quindi estrapolare indicazioni significative riguardo al comportamento di una turbina eolica in regimi che difficilmente possono essere riprodotti in laboratorio.

È stata quindi analizzata una piccola turbina ad asse orizzontale con tre pale [12], con potenza massima di 1 kW, sia con metodi numerici che per mezzo di indagini sperimentali nella galleria del vento "R. Balli" (windgalleria del vento .unipg.it) dell'Università di Perugia. Tale turbina era stata precedentemente analizzata, ad esempio, in [4], con vento stazionario e a rampa: questi test sono



risultati utili per studiare alcune proprietà meccaniche, come lo spettro delle vibrazioni e le frequenze naturali della macchina. Questo tipo di studi possono essere molto utili per capire problemi di vibrazione e rumore, peculiari della tecnologia delle piccole turbine eoliche [9,7], e per mitigarli.

È stata sviluppata una metodologia “non stazionaria” per caratterizzare le prestazioni della turbina e del sistema di controllo e per ottenere suggerimenti affidabili per migliorare il comportamento dinamico. È stata indagata la risposta della macchina, in termini di ritardo e ingrandimento dell’ampiezza tra un input controllato non stazionario (rappresentato dalla velocità del vento) e l’output (rappresentato dalla velocità del rotore e dalla potenza).

Come in [5,4], l’approccio è duplice: lo studio sperimentale della turbina test in galleria del vento sottoposta a un vento controllato non stazionario viene interfacciato con una modellazione aeroelastica numerica della turbina eolica [3]. Il feedback uno a uno tra il modello e l’esperimento è prezioso per il controllo incrociato dell’affidabilità del modello e della robustezza delle misurazioni sperimentali. I risultati delle esperienze condotte mostrano i pro e i contro nel passare da un vento stazionario a uno sinusoidale e come utilizzare questi risultati per caratterizzare il comportamento dinamico delle macchine.

2.1 Galleria del vento

Test sperimentali

Le misure sperimentali sono state effettuate nella galleria del vento “R. Balli” dell’Università di Perugia. In questa struttura l’aria può essere accelerata fino ad una velocità massima di 47 m/s mediante l’uso di una ventola mossa da un motore elettrico di 375 kW in un circuito chiuso. La camera di prova aperta ha una sezione di apertura di 5 m² e una sezione di recupero di 7 m². La velocità del vento è misurata da due tubi di Pitot e un anemometro a coppette posizionati nella sezione d’apertura; nella camera di prova anche le condizioni ambientali (pressione dell’aria, temperatura, umidità relativa) sono continuamente monitorate. L’inverter che controlla la ventola permette di generare serie temporali di vento che variano nel tempo.

Il modello di piccola turbina eolica è una macchina ad asse orizzontale a passo fisso con un rotore del diametro di 2 m dotata di tre pale in polimero rinforzato con fibra di vetro.

Il rotore opera in un ampio range di velocità rotazionali (da 200 a 700 rpm).

La turbina per il test non stazionario è stata piazzata approssimativamente nel centro nella camera di prova aperta della galleria. Sono state effettuate misure di:

- Velocità del vento (attraverso un anemometro e un Pitot);
- Velocità del rotore (attraverso un contagiri ottico e un’interfaccia vento);
- Potenza in uscita.

Il controllo della turbina è completamente elettrico e avviene mediante un carico resistivo variabile continuamente regolato attraverso un duty cycle PWM (Pulse Width Modulation), con una frequenza di 500Hz.

La modulazione del carico è effettuata per seguire la curva rpm-power ottimale ottenuta dai test con vento stazionario.

Si avevano a disposizione della turbina due generatori identici, uno dei quali danneggiato. Ai test in galleria del vento sono stati affiancati test su banco prova, in cui si è studiato il generatore. È stato quindi possibile, all’interno di un ambiente controllato, implementare nuove metodologie che permettessero, attraverso l’analisi sperimentale di dati e la validazione di modelli, lo sviluppo delle soluzioni tecnologiche adeguate per la precoce diagnosi del guasto.

La turbina è stata utilizzata come riferimento per realizzare un modello numerico capace di riprodurre il comportamento in condizioni di funzionamento non stazionario.

Si è acquisito il segnale di un microfono acustico, per correlarlo con il segnale degli accelerometri: tale segnale ha mostrato come sia possibile rilevare le armoniche fondamentali della macchina mediante segnali acustici, che potrebbero consentire anche l’acquisizione di misure a distanza.



Nelle seguenti figure si mostra la turbina in galleria del vento.

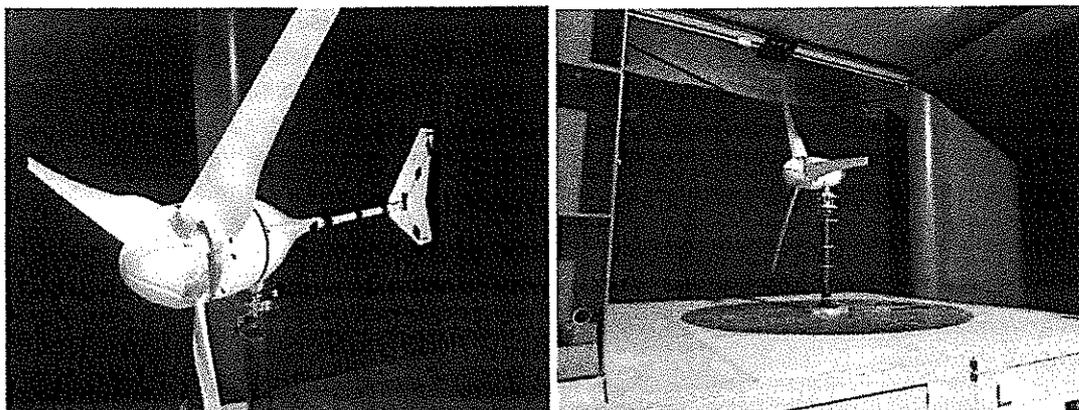


Figura 14: La piccola turbina eolica ad asse orizzontale nella sezione test aperta della galleria del vento del vento

Il comportamento non stazionario del sistema è stato studiato usando una serie temporale di vento della durata totale di 500 secondi, strutturata come segue:

1. 100 secondi di vento stazionario (approssimativamente 8.5 m/s);
2. 300 secondi di vento sinusoidale con un'ampiezza di circa 1.3 m/s e periodo variabile (tre periodi sono stati testati: 10, 20 e 30 secondi);
3. 100 secondi di vento stazionario (stesse condizioni dell'inizio del test).

Sono state quindi analizzate tre condizioni non stazionarie differenti (rispettivamente test1, test2 e test3). Infine è stato eseguito un test simile (test4) della turbina senza carico, con la velocità media del vento è stata tenuta più bassa (4 m/s) per evitare problemi di overspeed del rotore.

Modellazione numerica

È stato messo a punto un modello aeroelastico [3] che utilizza FAST (Fatigue, Aerodynamics, Structures and Turbulence realizzato da NREL) v8.

La metodologia applicata prevede lo sviluppo di modelli che mettano in relazione i carichi delle componenti delle turbine e il loro comportamento a fatica con le misure ottenute dai semplici sistemi di acquisizione di cui sono dotate le piccole turbine. I modelli necessitano per la validazione e per la stessa definizione, di misure meccaniche e vibrazionali ad alta frequenza sulle componenti della turbina. I modelli, allenati e validati mediante le misure effettuate, sono stati interpretati per l'individuazione di indicatori di sintesi che siano funzione dei parametri monitorati dai sistemi di monitoraggio standard installati a bordo macchina.

Il modello numerico impiegato per la simulazione del comportamento delle turbine è denominato FAST, sviluppato dal centro di ricerca NREL sulle energie rinnovabili. Questo codice permette la simulazione dei parametri principali delle turbine eoliche: simulazione del vento, delle proprietà elastiche della torre e delle pale, dell'aerodinamica delle pale, simulazione aeroelastica dell'interazione struttura-vento, etc.. Il codice rientra nella categoria dei CAE (Computer Aided Engineering), ovvero quei software che tramite calcolatore assistono l'utente nella progettazione ingegneristica; molto spesso viene utilizzato in co-simulazione con altre tipologie di software.

In particolare può essere utilizzato come pre-processore del software multi-body Adams, per definire complessi scenari di carico dinamico. L'obiettivo di FAST è quello di fornire la risposta dinamica di una turbina eolica sottoposta non solo all'azione del vento, ma ad esempio anche ad azioni idrodinamiche o a moti del vincolo, tipici di impianti off-shore.

Il software nasce come simulatore di grandi turbine eoliche, ma in OPTOWIND è stato messo a punto per generatori di piccola taglia.



Esistono notevoli differenze tra le due tipologie di macchine, la più importante delle quali risiede nel fatto che le prime si discostano assai poco dal regime di rotazione di progetto, mentre le seconde possono funzionare in ampi range di velocità. Per questo motivo la messa a punto del software, ha comportato delle difficoltà nel settaggio di alcuni parametri di funzionamento. Al fine di sviluppare modelli numerici per la caratterizzazione delle turbine sono necessari i parametri strutturali e di funzionamento della macchina. Tali parametri sono stati di facile definizione per la turbina impiegata in laboratorio (per la quale si avevano a disposizione informazioni del costruttore), mentre sono state riscontrate numerose difficoltà per le macchine site in Annifo, a causa della carenza di informazioni strutturali. In tal caso si è ricorso a diverse metodologie: lo studio e acquisizione di dati di letteratura, la misura diretta dei parametri su campo, lo sviluppo di metodologie numeriche come la valutazione delle frequenze naturali (ottenute frenando improvvisamente la macchina) con cui risalire ai modi di vibrazionali della torre, necessari al funzionamento del modello numerico.

Struttura del software

Da un punto di vista fisico, la risposta dinamica di una turbina eolica è data dall'interazione di tanti fattori tra loro accoppiati (aerodinamica, elasticità, idrodinamica, trasmissione della potenza meccanica, generazione e trasmissione della potenza elettrica, etc.). nel codice FAST v8, ognuno di questi aspetti è implementato in un modulo indipendente. Nel seguente schema viene presentata la struttura del software.

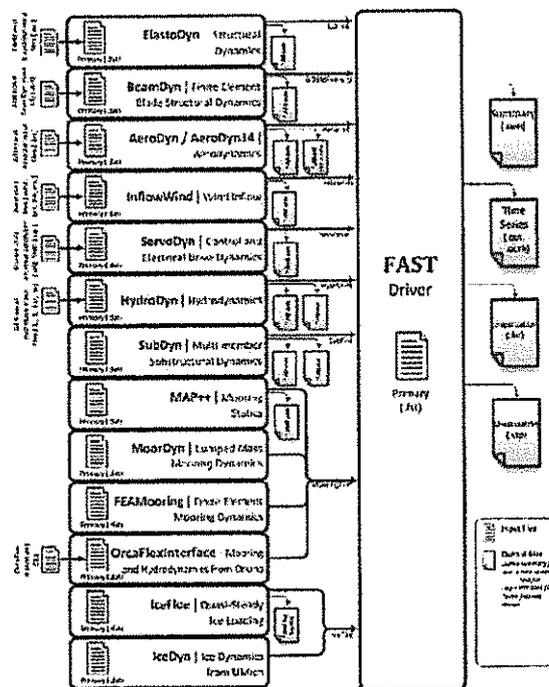


Figura 15: struttura software FAST

L'implementazione del modello per il progetto OPTOWIND ha previsto l'impiego dei seguenti moduli:

- ElastoDyn: analisi strutturale elastica della torre e delle pale;
- AeroDyn v15 : analisi aerodinamica;
- InflowWind: generazione del flusso del vento;
- ServoDyn: accoppiamento elettromeccanico turbina-moltiplicatore-generatore.

Per ogni modulo va completato un file in formato .dat in cui fornire i dati di input.



La terza opzione, impiegata nel progetto OPTOWIND, prevede di impostare in input una tabella, in cui si riportino alcuni punti di funzionamento del rotore, espressi come valori di coppia ed rpm.

La curva di coppia è stata ottenuta a partire dai valori di set-point della potenza implementati nel controllore PID della galleria del vento.

Per ottenere una maggiore risoluzione, i punti sono stati interpolati in ambiente Matlab con un passo di 10 rpm tra uno step ed il successivo.

Come discusso in [4], il codice FAST non è stato sviluppato per micro turbine eoliche quindi deve essere attentamente configurato per la simulazione del comportamento dinamico di piccoli dispositivi. Per questo motivo, l'interfaccia Matlab-Simulink (disponibile per questo software) è stata utilizzata per implementare un migliore controllo del dispositivo. In Simulink, un sotto-sistema la controlla: come input riceve la velocità dell'albero (in rpm) e la potenza e stima in output la potenza che la turbina dovrebbe produrre. Una tabella look-up è stata utilizzata, la quale associa ad ogni valore rpm un valore della potenza richiesta ottimale: queste coppie di valori (rpm vs potenza ottimale) sono gli stessi della turbina reale usata in galleria del vento; tali valori sono stati calcolati sulla base dei test in stato stazionario con differenti velocità del vento, cambiando il carico elettrico, fino a che la turbina non produce la potenza massima, secondo la teoria MPPT (Maximum Power Point Tracking). La potenza calcolata in questo modo rappresenta il valore di set-point ed è utilizzata nel sotto-sistema PID nel quale un valore della potenza (chiamato DP) è prodotto in output. Questo è proporzionale all'errore, all'integrale e alla derivata dell'errore, attraverso le costanti KP;KI ;KD. I valori ottenuti sono, comunque, differenti da quelli usati dalla turbina reale: infatti molte componenti che influenzano il comportamento della turbina e il suo controllo (il generatore elettrico, il raddrizzatore, i carichi induttivi e capacitivi, etc) non sono rappresentate nel codice Simulink. Dopo che il valore di DP è stato stimato (che può essere positivo o negativo) viene aggiunto alla potenza richiesta alla macchina; FAST ha bisogno anche del valore del momento torcente, che è ottenuto dividendo la potenza in uscita per la velocità angolare (fig. 15).

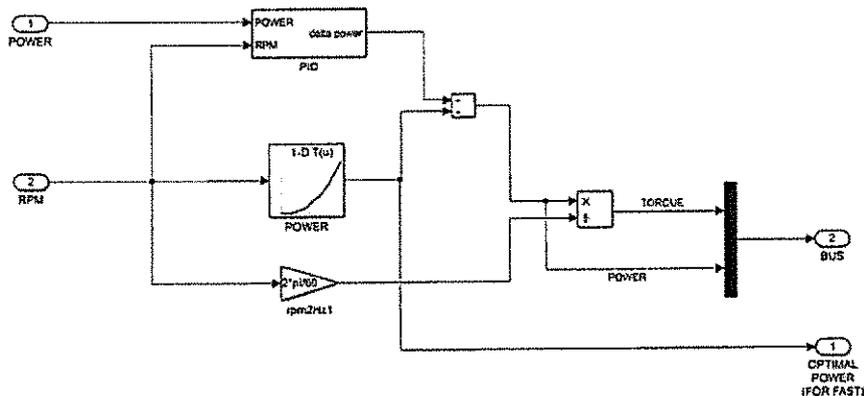


Figura 17: Modello Simulink del controllo a circuito chiuso elettrico

Alcune simulazioni sono state eseguite usando come input le stesse serie temporali di vento misurate attraverso il Pitot della galleria, in modo da confrontare l'output della simulazione con le misure. Da notare che sia la turbina reale che il modello numerico non utilizzano la velocità del vento per controllare la loro potenza; nella simulazione questo è molto importante perché la velocità del vento può essere considerata un input indipendente e così i risultati sperimentali e numerici ottenuti possono essere considerati una sorta di differenti output da uno stesso input e quindi possono essere confrontati.



3- Risultati

I dati delle prove sperimentali e delle simulazioni numeriche sono stati analizzati con differenti metodologie: oltre a strumenti classici come l'analisi in frequenza di segnali stazionari o un'analisi di tipo statistico, sono stati impiegati l'analisi congiunta in tempo e frequenza (sia STFT che Wavelet), tecniche di filtraggio numerico, approcci basati sul concetto di ciclo-stazionarietà (come la media sincrona, la coerenza spettrale), la trasformata di Hilbert, etc. Sono stati impiegati anche strumenti di elaborazione del sistema di acquisizione LMS, che hanno certificato (laddove possibile) la bontà dei risultati ottenuti. Tramite questi strumenti matematici è stato ad esempio possibile individuare la causa di un fenomeno di vibrazione che si presentava soprattutto alle alte velocità, sulla macchina testata in galleria del vento, e che si è dimostrato essere dovuta all'accoppiamento magnetico del rotore elettrico con il suo statore trifase. Tale vibrazione, chiamata "ordine 48P", si può evincere nei grafici sotto riportati (in ascissa il valore degli rpm e in ordinata quello delle accelerazioni; in rosso il segnale estratto per ogni multiplo della frequenza di rotazione).

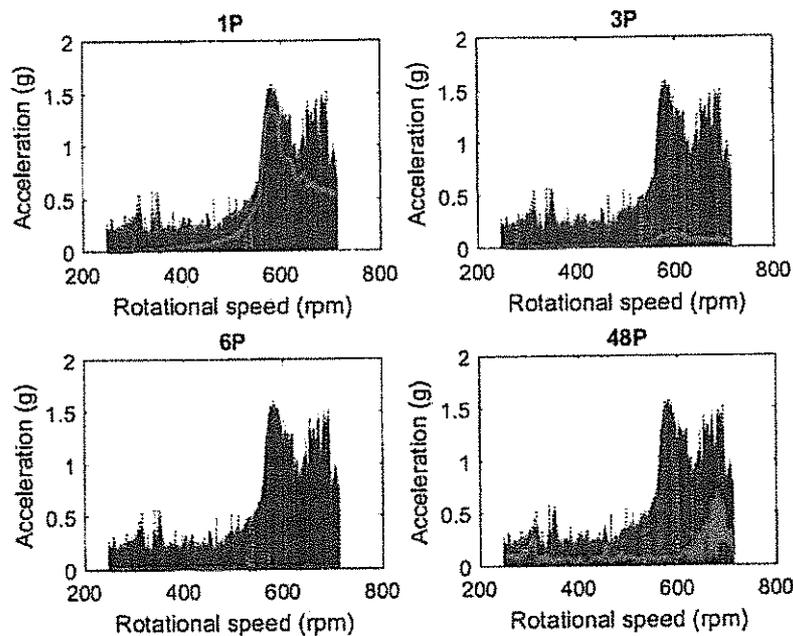


Figura 18: accelerazioni in funzione della velocità rotazionale

L'analisi congiunta dei test in galleria del vento e delle simulazioni ha condotto molteplici risultati. Nelle tabelle 1 e 2 sono riportate e confrontate le grandezze statistiche (valor medio e deviazione standard) delle serie temporali misurate e simulate della potenza e del numero di giri per minuto del rotore (rpm). Il principale risultato è che c'è un buon accordo tra di loro. In genere le misure sperimentali sono caratterizzate da un più alto grado di non stazionarietà come dimostrato dai valori più alti delle deviazioni standard.

Tabella 1 statistica della potenza in uscita secondo l'analisi numerica e sperimentale

	Output Power (W)					
	test1		test2		test3	
	average	Std	average	Std	average	Std
experimental	526.7	176	528	157	526	146
numerical	533	96	537	134	537	131



Tabella 2: statistica della velocità del rotore secondo l'analisi numerica e sperimentale

	Rotor speed (rpm)							
	test1		test2		test3		test4	
	average	Std	average	Std	average	Std	average	Std
experimental	469.8	59.8	471.6	54.6	471.4	51	386	74
numerical	479	36.32	477	50.3	477.3	49	461	62

Questi risultati dimostrano quanto instabile possa essere il funzionamento di una piccola turbina eolica e come i parametri elettrici non stazionari possano stressare l'interfaccia elettrica che connette il sistema alla rete locale.

Misurare la non stazionarietà della potenza in uscita usando il parametro statistico può comunque essere utile per scegliere la configurazione finale per la connessione con la rete locale (se le fluttuazioni di potenza sono molto grandi usare una batteria può essere un'ottima soluzione).

Il risultato più importante di un'analisi dinamica dovrebbe essere la caratterizzazione della funzione di trasferimento tra la velocità del vento e la velocità del rotore nel dominio del tempo.

Questo compito è difficile perché bisogna ottenere una perfetta sincronizzazione tra l'input del vento e la risposta della macchina.

Sfortunatamente l'analisi dello sfasamento tra la velocità del vento (misurata dal tubo di Pitot, che ha una risposta più veloce grazie alla sua inerzia più bassa, all'entrata della sezione di test) e la velocità del rotore ha mostrato dei problemi con la configurazione a circuito chiuso della galleria del vento.

Dai risultati della tabella 3 si riscontra uno sfasamento positivo tra la velocità del vento e del rotore specialmente per il test1 (con il periodo più piccolo di 10 secondi): questo significa che la velocità del rotore aumenta prima della velocità del vento, questo risultato, privo di significato in condizioni di campo aperto, è dovuto solamente alla dinamica di circuito chiuso della galleria del vento.

Tabella 3: risultati sperimentali e numerici per lo sfasamento tra velocità del vento e del rotore (espresso in percentuale del periodo)

	Phase shift (%)			
	test1	test2	test3	test4
experimental	23	5	-1	-4
numerical	-7	-7	-4	-20

Lo sfasamento tra la velocità del vento e quella del rotore è sempre negativo per il modello numerico perché la simulazione è configurata per riprodurre le condizioni di campo aperto e non considera effetti della configurazione a circuito chiuso della galleria del vento.

In figura 19 si può apprezzare chiaramente il differente comportamento tra i risultati sperimentali e quelli numerici. Questi risultati suggeriscono di non fare affidamento alla successione temporale, ma considerare la statistica non stazionaria per confrontare i risultati numerici e sperimentali.

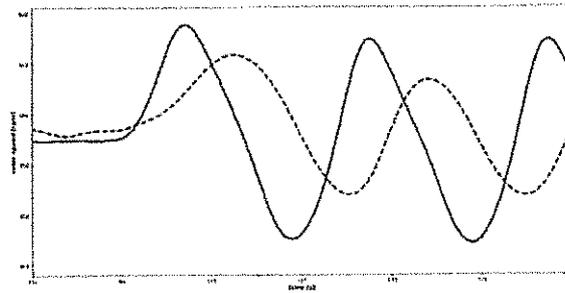


Figura 19: trend della velocità del rotore misurata (linea continua) e simulata (linea tratteggiata) per il test1 (vento sinusoidale con un periodo di 10 secondi)

Un altro disaccordo tra i risultati numerici e quelli sperimentali è stato scoperto analizzando lo sfasamento tra la velocità del rotore e la potenza in uscita: nel modello numerico la velocità del rotore e la potenza sono sincronizzati (stiamo simulando un perfetto controllo ideale) mentre nelle misure sperimentali c'è uno sfasamento positivo di qualche percento del periodo (diminuendo dal 4% per test1 al 2% per test3).

Questo è dovuto principalmente ad alcuni effetti del circuito elettrico (che non è stato simulato numericamente) e allo smorzamento aerodinamico che non è riprodotto correttamente dal modello come dimostrato dai risultati nella tabella 2 (la velocità sperimentale del rotore per test4 senza carico è considerabilmente più basso del valore numerico).

In figura 20 è possibile osservare quanto il trend numerico blu riproduca esattamente la tabella ottimale di riferimento ottenuta da test stazionari (usata come riferimento per il controllo) mentre le misure sperimentali sono affette dagli effetti sopra menzionati.

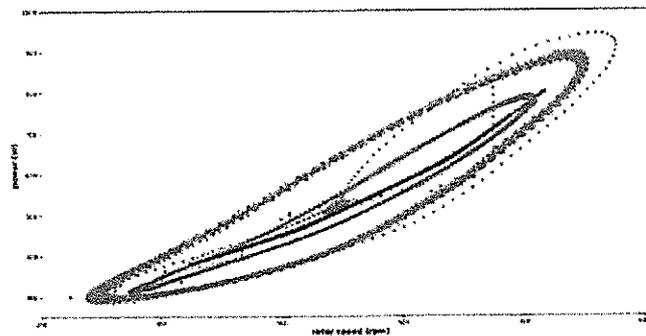


Figura 20: potenza su velocità del rotore per le misure sperimentali del test1 (rosso) e test3 (verde) confrontati con i risultati numerici (blu)

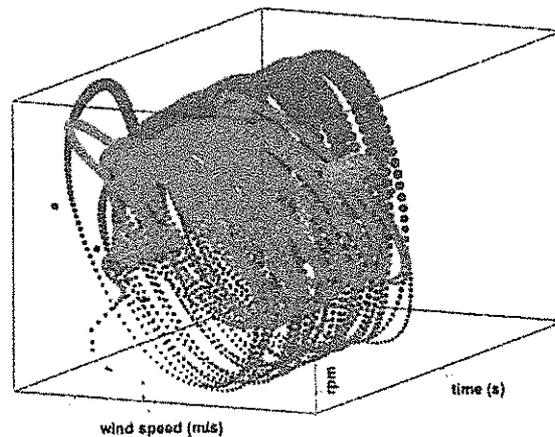


Figura 21: confronto tra il trend sperimentale (rosso) e numerico (blu) della velocità del rotore su velocità del vento e tempo (test1)



La figura 20 dimostra che il modello numerico è capace di riprodurre in modo affidabile solo un vento turbolento molto lento (simile a quello del test3 con un periodo di 30 secondi) e che è necessario un ulteriore sviluppo del modello per riprodurre la dinamica della macchina reale.

Comunque dalla figura 19 e dal grafico 3D di figura 21 si può osservare che l'effettiva configurazione del modello è capace di predire correttamente l'overshoot iniziale nella transizione tra la condizione di vento stazionario e il regime sinusoidale.

Questo dimostra che le transizioni molto veloci sono governate principalmente dall'aerodinamica e dai parametri meccanici che sono inclusi correttamente nella versione attuale del modello numerico.

Conclusioni

Sono state condotte analisi numeriche e sperimentali su una piccola turbina ad asse orizzontale. L'analisi sperimentale è stata effettuata presso il galleria del vento "R. Balli" dell'Università di Perugia e consiste principalmente in test con vento sinusoidale con lo scopo di analizzare il comportamento dinamico della turbina. Si prevede che questo approccio sia più utile quando si sviluppa un sistema che opererà in un ambiente con vento urbano, turbolento e non stazionario. L'analisi numerica è stata effettuata usando il codice aeroelastico FAST di NREL e Matlab-Simulink per riprodurre l'effettivo controllo di potenza.

I risultati discussi hanno svelato i pro e i contro di questo approccio non stazionario e anche la debolezza del modello e della configurazione a circuito chiuso del galleria del vento del vento.

Le misure sperimentali sono affidabili in termini di statistica globale e si ritiene che possano essere un valido strumento per caratterizzare il comportamento dinamico del sistema.

Anche il modello statistico sembra dare risultati affidabili in termini di statistica non stazionaria globale e può essere utile nella fase di sviluppo per scegliere la configurazione meccanica ed aerodinamica ottimale, mentre un ulteriore miglioramento è necessario per riprodurre correttamente la risposta dinamica del controllo.

Sfortunatamente la configurazione a circuito chiuso del galleria del vento non permette la stima dello sfasamento tra il vento e la risposta della macchina in termini della velocità del rotore e della potenza. Questo può essere dovuto ai seguenti effetti che in qualche modo possono indurre un ritardo nella misura della velocità del vento:

- La camera test aperta può agire come una sorta di riserva ed immagazzinamento del flusso d'aria quando la spinta del rotore aumenta bruscamente;
- L'effetto dei gradienti di pressione possono indurre sul grande volume d'aria nel circuito della galleria del vento alcuni piccoli cambiamenti di volume/densità.

In futuro si pensa di indagare più in profondità questo effetto utilizzando misure aggiuntive di pressione nel circuito del vento e sviluppando altri metodi per generare serie temporali di vento non stazionario (ad esempio griglie oscillanti).

Un ulteriore sviluppo di tali metodologie potrebbe essere una più dettagliata rappresentazione dell'intera catena di trasformazione del vento nella potenza in uscita. In particolare, la catena elettrica potrebbe essere simulata in modo più realistico, includendo anche il generatore sincrono, il raddrizzatore e i carichi resistivi, come utilizzati durante i test sperimentali. In questo modo è possibile usare gli stessi parametri di controllo della turbina reale (parametri PID, legge di controllo PWM, etc.) e studiare come influenzano la risposta della macchina, per esempio in termini del ritardo tra la velocità del vento e quella del rotore.

L'articolo "*Analyzing the unsteady dynamic behaviour of a small wind turbine for urban applications*", basato sulle tematiche analizzate in questa sezione, è in via di pubblicazione agli atti del convegno TURbWind 2018 - Research and Innovation on Wind Energy Exploitation in Urban Environment Colloquium. Tale articolo dettaglia i risultati ottenuti nelle prove di laboratorio in galleria del vento inerenti una piccola turbina eolica ad asse orizzontale.



2.2 Banco prova

Su banco prova sono stati testati sia un generatore funzionante che uno difettoso. I generatori sono stati strumentati con accelerometri ed è stato acquisito il segnale del microfono, mentre sono stati simulati funzionamenti sia a punto fisso che su rampa. Sono stati isolati quindi gli effetti del danneggiamento, implementando pertanto strumenti matematici innovativi per l'interpretazione dei guasti.

I segnali acquisiti sono stati elaborati con tecniche numeriche innovative ed è stato possibile individuare il guasto mediante la definizione di parametri adeguati.

Lo sviluppo di tali metodologie consisterà nell'applicazione di tale modello non solo al singolo componente montato a banco, ma sulla macchina durante il suo funzionamento.

Il banco prova che è stato allestito è riportato in fig. 22, in cui si possono notare il motore di trascinamento, il generatore ed i vari sensori.

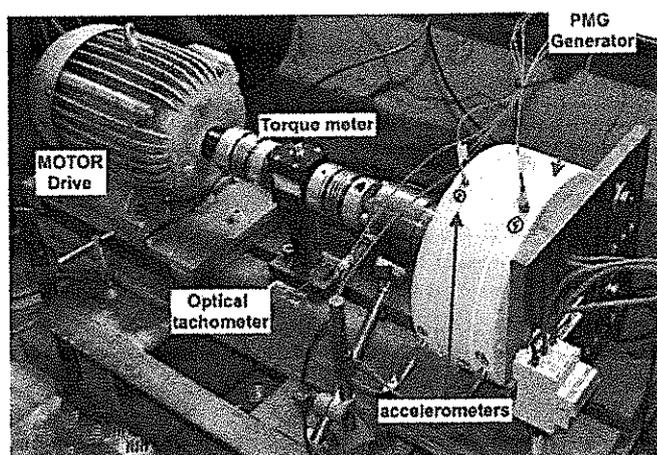


Figura 22: Banco prova

È stato inoltre possibile stimare la perdita economica provocata dalla minore produzione elettrica di un generatore difettoso con i dati sperimentali acquisiti. È stato misurato il rendimento dei generatori (come rapporto tra la potenza elettrica in uscita e quella meccanica in ingresso) con una procedura realizzabile solo in laboratorio, tramite l'installazione di un torsionmetro a monte del generatore (sul campo non sarebbe fattibile una tale operazione, dovendo andare a smontare il generatore della macchina eolica). È quindi stato calcolato il rendimento della macchina, che nel caso del generatore difettoso presentava un deficit di circa un punto percentuale ai diversi regimi di rotazione a cui sono stati effettuati i test, come riportato nella seguente tabella.

Regime di rotazione (rpm)	Rendimento gen sano	Rendimento gen difettato
300	96.55	95.68
400	97.21	96.68
500	97.80	96.67

Con tale procedura è stato possibile calcolare la mancata produzione tramite delle misure non intrusive e facilmente applicabili. In futuro si prevede di migliorare la corrispondenza tra i dati acustici e quelli accelerometrici, in modo da effettuare diagnosi del funzionamento senza misure a contatto. A valle delle acquisizioni sperimentali effettuate su turbine di piccola e media taglia si ritiene che si possano utilizzare gli stessi modelli matematici di verifica della presenza del guasto.

L'analisi dei dati acquisiti ha permesso di evidenziare (fig.23) la presenza del difetto presente su una delle due macchine in corrispondenza dell'ordine 0.4P (ovvero 0.4 volte la velocità di rotazione). Tale risultato, ottenuto con una metodologia matematica innovativa (come la coerenza spettrale), è particolarmente evidente per il segnale accelerometrico, meno per quello acustico.

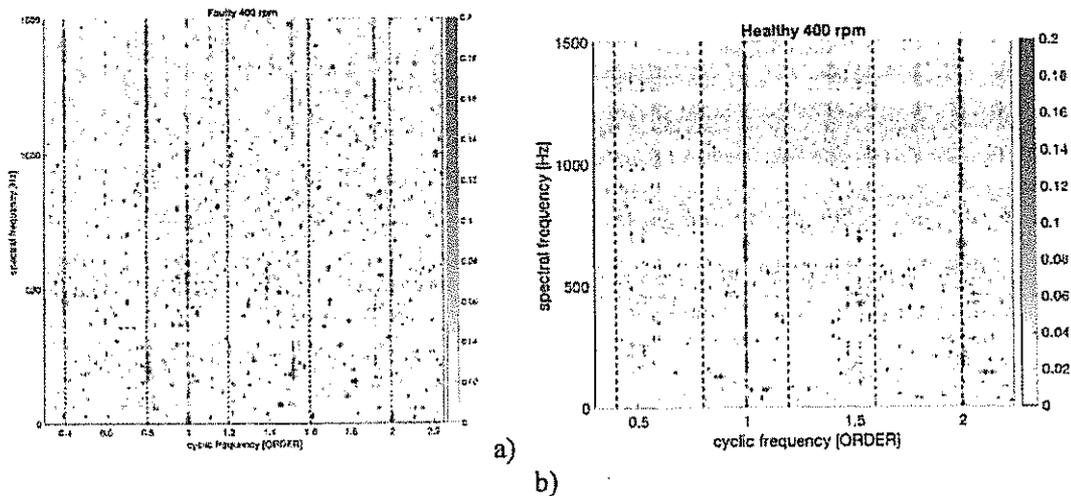


Figura 23: Frequenza spettrale per a) generatore difettoso; b) generatore sano

REFERENZE

1. Alpmann, E.: *Aerodynamic performance of small-scale horizontal axis wind turbines under two different extreme wind conditions*. Journal of Thermal Engineering 1(3), 420–432 (2015)
2. Battisti, L., Benini, E., Brighenti, A., Dell'Anna, S., Castelli, M.R.: *Small wind turbine effectiveness in the urban environment*. Renewable Energy 129, 102–113 (2018)
3. Bradney, D., Evans, S., Da Costa, M.S.P., Clausen, P.: *Comparison of computational modelling and field testing of a small wind turbine operating in unsteady flows*. In: Journal of Physics: Conference Series, vol. 753, p. 082029. IOP Publishing (2016)
4. Castellani, F., Astolfi, D., Becchetti, M., Berno, F., Cianetti, F., Cetrini, A.: *Experimental and numerical vibrational analysis of a horizontal-axis micro-wind turbine*. Energies 11(2), 456 (2018)
5. Castellani, F., Becchetti, M., Astolfi, D., Cianetti, F.: *Dynamic experimental and numerical analysis of loads for a horizontal axis micro wind turbine*. In: Research and Innovation on Wind Energy on Exploitation in Urban Environment Colloquium, pp. 79–90. Springer (2017)
6. Grieser, B., Sunak, Y., Madlener, R.: *Economics of small wind turbines in urban settings: An empirical investigation for Germany*. Renewable Energy 78, 334–350 (2015)
7. Lee, S., Lee, S.: *Numerical and experimental study of aerodynamic noise by a small wind turbine*. Renewable Energy 65, 108–112 (2014)
8. Lubitz, W.D.: *Impact of ambient turbulence on performance of a small wind turbine*. Renewable Energy 61, 69–73 (2014)
9. Mollasalehi, E., Sun, Q., Wood, D.: *Contribution of small wind turbine structural vibration to noise emission*. Energies 6(8), 3669–3691 (2013)
10. Pagnini, L.C., Burlando, M., Repetto, M.P.: *Experimental power curve of small-size wind turbines in turbulent urban environment*. Applied Energy 154, 112–121 (2015)
11. Sang, L.Q., Murata, J., Morimoto, M., Kamada, Y., Maeda, T., et al.: *Experimental investigation of load fluctuation on horizontal axis wind turbine for extreme wind direction change*. Journal of Fluid Science and Technology 12(1), JFST0005–JFST0005 (2017)
12. Scappatici, L., Bartolini, N., Castellani, F., Astolfi, D., Garinei, A., Pennicchi, M.: *Optimizing the design of horizontal-axis small wind turbines: From the laboratory to market*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 154, 58–68 (2016)
13. Sunderland, K., Woolmington, T., Blackledge, J., Conlon, M.: *Small wind turbines in turbulent (urban) environments: A consideration of normal and weibull distributions for power prediction*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 121, 70–81 (2013)
14. Tabrizi, A.B., Whale, J., Lyons, T., Urmee, T.: *Performance and safety of rooftop wind turbines: Use of cfd to gain insight into inflow conditions*. Renewable Energy 67, 242–251 (2014)
15. Tang, C., Soong, W.L., Freere, P., Pathmanathan, M., Ertugrul, N.: *Dynamic wind turbine output power reduction under varying wind speed conditions due to inertia*. Wind Energy 16(4), 561–573 (2013)
16. Tummala, A., Velamati, R.K., Sinha, D.K., Indraj, V., Krishna, V.H.: *A review on small scale wind turbines*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 56, 1351–1371 (2016)



3. VALIDAZIONE SU GRANDI MACCHINE

La validazione delle tecniche sviluppate è stata possibile grazie a esperienze sperimentali condotte in un parco eolico dove sono installate turbine eoliche con potenza pari a 2 MW. Nel parco è presente una turbina danneggiata a causa di un difetto di un cuscinetto del moltiplicatore che però non forniva particolari allarmi a livello di segnali meccanici. Tale condizione ha permesso il test delle metodologie sviluppate di diagnosi precoce dei guasti.

In generale il monitoraggio delle condizioni delle gearbox delle turbine eoliche è un tema attuale nella letteratura sull'energia eolica, in quanto i guasti che interessano il gearbox influiscono per almeno il 20% sull'indisponibilità operativa delle turbine eoliche. Sono state validate tecniche caratterizzate da reperibilità e scarso impatto sull'operatività delle turbine: la misurazione infatti non avviene sul gearbox ma sulla torre, con enormi vantaggi operativi. Le misure sono state effettuate su turbine eoliche di proprietà dell'azienda Renvico. Sono state effettuate misurazioni delle vibrazioni sulla turbina eolica sospettata di essere danneggiata e su turbine di riferimento, quindi sono state svolte elaborazioni attraverso un algoritmo di tipo multivariate Novelty Detection nello spazio delle caratteristiche. L'applicazione di questo algoritmo è giustificata da test statistici univariati sulle caratteristiche selezionate del dominio del tempo e da un'ispezione visiva del dataset tramite Principal Component Analysis.

La gamma di approcci alla diagnosi dei guasti della gearbox delle turbine eoliche è ampia: molte tecniche empiriche forniscono diagnosi tardive, e attualmente è diffuso l'uso dei dati del Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA). Le tecniche di diagnosi basate sull'analisi di dati SCADA sono però molto complesse e non sono attualmente ad un grado di sviluppo tale da aver raggiunto gli standard industriali. Come supporto a questa argomentazione, si consideri che l'analisi dei dati SCADA non aveva permesso di diagnosticare il danno del caso di test qui presentato. Ciò motiva la crescente diffusione di tecniche di monitoraggio alternative. Il fatto che la turbina eolica sia sottoposta a condizioni operative non stazionarie rende non banale l'estrazione affidabile delle caratteristiche dei segnali di vibrazione misurati e la rilevazione di guasti in arrivo.

Per questo motivo, si sta diffondendo l'installazione di sistemi di monitoraggio delle condizioni delle gearbox, anche se parecchie turbine eoliche al giorno d'oggi non sono dotate di tali sistemi, perché probabilmente il rapporto costi-benefici non è stato considerato vantaggioso o semplicemente perché non si tratta di installazioni recenti. È quindi interessante studiare le tecniche di diagnosi dei guasti della gearbox che influiscono il meno possibile sul funzionamento delle turbine eoliche e questa è proprio una delle motivazioni del presente lavoro.

Nel caso in oggetto è stata analizzata una turbina eolica non equipaggiata con sistemi di monitoraggio delle condizioni del gearbox cui è stato diagnosticato un grave danno attraverso l'analisi del conteggio delle particelle di olio. Prima dell'intervento di sostituzione della gearbox, è stata condotta una campagna di misura dall'Università di Perugia. Sono state misurate le vibrazioni della torre mediante acquisizioni accelerometriche mediante tecniche non invasive che non richiedono l'arresto della turbina eolica. Le misurazioni vengono raccolte simultaneamente sulla turbina eolica danneggiata in questione e su una (o più) turbine eoliche non danneggiate di riferimento. Successivamente i dati sono stati elaborati con un algoritmo di tipo multivariate Novelty Detection nello spazio delle caratteristiche. L'applicazione di questo algoritmo è giustificata da test statistici univariati sulle caratteristiche selezionate del dominio del tempo e da un'ispezione visiva del dataset tramite Principal Component Analysis. Infine, gli indici di novità basati su tali caratteristiche del dominio del tempo si sono dimostrati adatti per i danni.

L'innovatività del presente lavoro è quindi sia nelle tecniche di misurazione che nei metodi di elaborazione dei dati.

Nel sito in esame sono installate sei turbine eoliche multi-megawatt. Un'immagine del parco eolico è riportata nella seguente Figura.

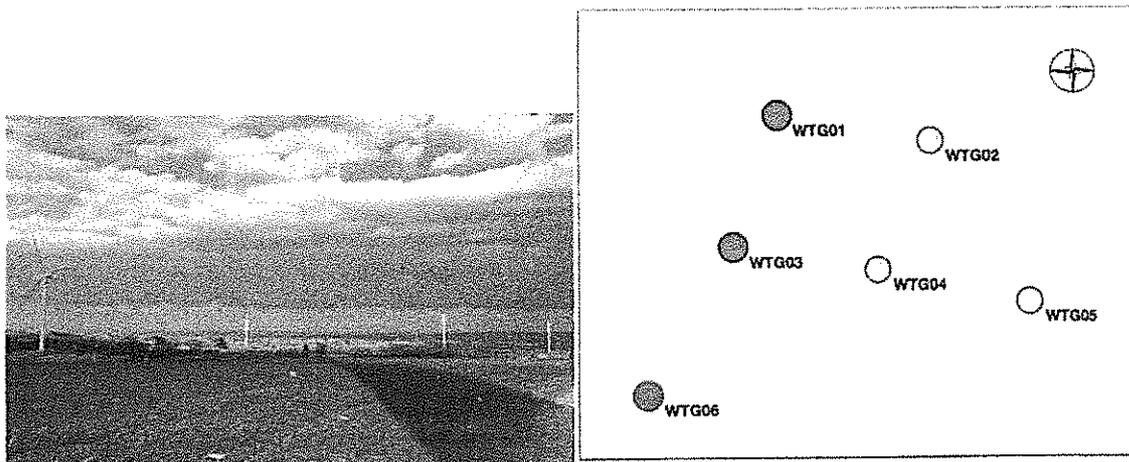


Figura 24: immagine del parco eolico e layout In rosso la turbina danneggiata, in blu le turbine di riferimento

All'interno della turbina sono stati posizionati degli accelerometri in grado di misurare le vibrazioni longitudinali (asse x) e trasversali (asse y), come mostrato nella Figura 25. Sono stati impiegati quattro accelerometri (rispettivamente due sul livello superiore a 7 m sopra il terreno e due sul livello inferiore a 2 m sopra il terreno) e un microfono (al livello inferiore).

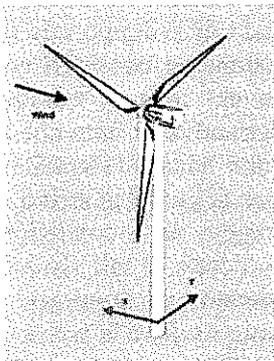


Figura 25: definizione del sistema di riferimento per le direzioni longitudinale e trasversale

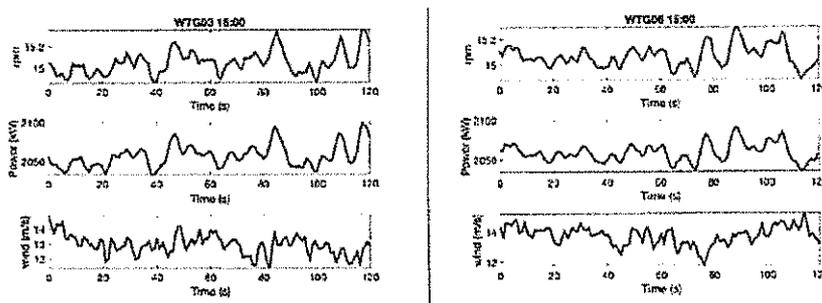


Figura 26: campione della tendenza dei più importanti parametri durante la misura di vibrazione per WTG03 e WTG06 . La barra grigia è il valore medio \pm la deviazione standard

I dati operativi sono stati forniti dal produttore di turbine eoliche in tempo reale durante la campagna di misurazione, con un tempo di campionamento dell'ordine del secondo. Questi sono stati usati per valutare la similarità delle condizioni del vento in diverse turbine eoliche allo stesso istante come mostrato nella Figura 26.

Il dataset analizzato è composto da un totale di 4 acquisizioni su tre turbine diverse, in due istanti temporali diversi. Questo dataset è comunque suddiviso in 2 sottoinsiemi, per produrre un set di addestramento e un secondo set indipendente essenziale per la convalida della procedura.



In questo caso le acquisizioni sulle turbine non danneggiate WTG01 e WTG03 alle 17.20 sono state utilizzate come riferimento per calibrare l'algoritmo su una condizione di funzionamento, mentre le acquisizioni sulla turbina WTG03 (una di quelle funzionanti) e sulla turbina WTG06 forse danneggiata effettuate alle 15.00 sono utilizzate per la convalida, come riassunto nella Tabella 4.

Tabella 4: il dataset

1	WTG01 @ 17.20	HEALTHY	Reference → Calibration: Training
2	WTG03 @ 17.20		
3	WTG03 @ 15.00	DAMAGED	Validation
4	WTG06 @ 15.00		

Ogni acquisizione consiste di 5 canali campionati a 12,8 kHz per 2 minuti:

- 4 sono pensati per registrare accelerazioni a 2 livelli (inferiore e superiore) in 2 direzioni (X quasi parallelo alla direzione del vento e Y ortogonale a X);
- 1 registrazione da un microfono (al livello inferiore).

Il dataset originale è composto da 4 acquisizioni di 5 canali ciascuna. Le informazioni riguardanti lo stato di salute della turbina eolica sono estratte da questi dati mediante la valutazione di parametri caratteristici. Una scelta semplice dei parametri consiste nell'utilizzare statistiche comuni nel dominio del tempo come il valore quadratico medio, l'asimmetria, la curtosi, il valore di picco e il fattore di cresta (picco / RMS). Di solito tali parametri sono abbastanza sensibili alle condizioni operative e ambientali e sono molto veloci da calcolare, quindi sono adatti per un'analisi preliminare.

Per garantire la significatività statistica dei risultati, sono necessari molti punti di misurazione. Queste caratteristiche verranno quindi estratte in brevi, indipendenti (senza sovrapposizione) blocchi dei segnali originali. In particolare, ogni acquisizione è suddivisa in 100 parti su cui sono calcolate le cinque caratteristiche.

Il risultato di questa operazione è riassunto graficamente in Figura 27.

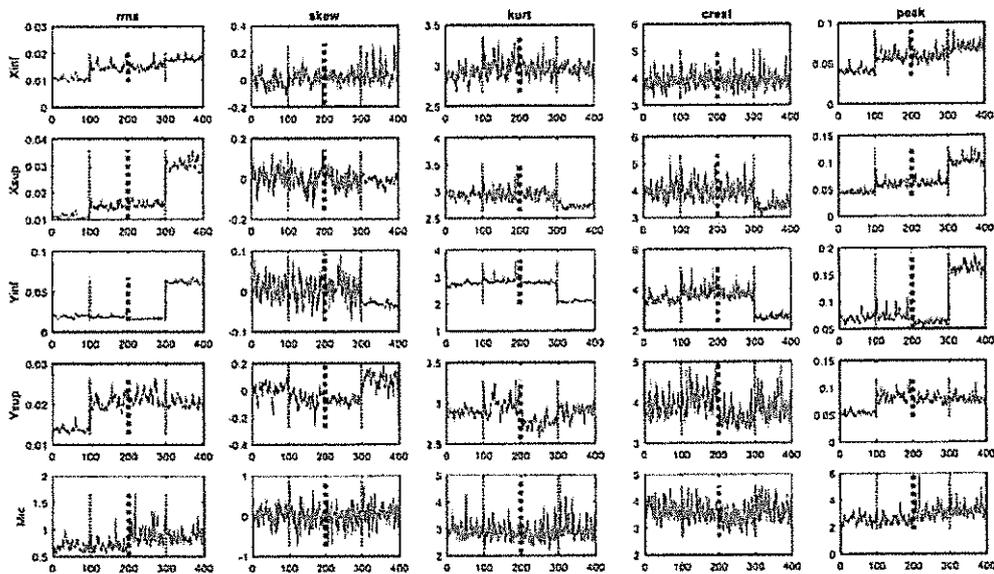


Figura 27: caratteristiche estratte. I campioni 0-100 sono riferiti alla macchina WTG01 alle 17.20, 101-200 a WTG03 alle 17.20, 201-300 a WTG03 alle 15.00, 301-400 provengono da WTG06 (la turbina danneggiata) alle 15.00. i primi due set sono utilizzati per la cal



Una delle principali novità del lavoro svolto, rispetto allo stato dell'arte in letteratura, consiste nel fatto che le acquisizioni accelerometriche sono state eseguite all'interno della torre, in un luogo lontano dalla gearbox, ma facilmente accessibile dagli operatori senza arrestare la turbina eolica. Questa tecnica di misurazione è una parte distintiva dei risultati del presente lavoro. Successivamente, è stato impostato un algoritmo di Novelty detection, basato su funzionalità comuni nel dominio del tempo come RMS, asimmetria, curtosi, fattore di cresta e valore di picco. Sono stati impiegati gli strumenti di analisi ANOVA e PCA, due strumenti fondamentali nelle statistiche univariate e multivariate. Entrambe le tecniche hanno dimostrato la rilevabilità del danno usando le caratteristiche selezionate. In particolare, le caratteristiche di curtosi e cresta hanno dimostrato di essere le più influenti, mentre Yinf è risultato il canale più informativo per il rilevamento dei danni. Infine, il rilevamento Mahalanobis Novelty ha mostrato risultati ottimali nel rilevamento del possibile danno, dato l'ampio margine che separa il NIs sospetto di essere danneggiato dal NIs intatto sia nella calibrazione che nella fase di validazione. Questo algoritmo si è rivelato anche una buona tecnica di rilevamento non supervisionato dei danni, considerando la rapidità, la semplicità e la piena indipendenza dall'interazione umana, che lo rendono adatto ad un'implementazione in tempo reale.

Complessivamente, l'intera metodologia di monitoraggio delle vibrazioni della gearbox può essere considerata convalidata dal test. Il semplice sistema di misura non invasivo composto da soli 2 accelerometri biassiali posizionati in posizioni accessibili su 2 livelli all'interno della torre della turbina eolica, insieme con l'algoritmo di Novelty detection applicato alle funzionalità comuni del dominio del tempo estratte, ha dimostrato di fornire un robusto sistema di monitoraggio, che può essere facilmente integrato in installazioni esistenti. Questo sistema può, in linea di principio, consentire di monitorare anche l'evoluzione del danno nel tempo, stabilendo le basi per ulteriori lavori sulla manutenzione predittiva, che potrebbero ottimizzare i regimi di manutenzione delle turbine eoliche, garantendo maggiore affidabilità e tempi di fermo minimi.

I risultati di tali indagini sono oggetto dell'articolo "*Fault diagnosis of wind turbine gearboxes through on-site measurements and vibrational signal processing*" che è in via di sottomissione alla rivista Measurement. Tale articolo dettaglia i risultati delle prove svolte su turbine multi megawatt in fase operativa: in tali prove è stata messa a punto una procedura per la diagnosi del comportamento e danni al gearbox mediante misure di vibrazioni su campo e analisi dati. I risultati oggetto dell'articolo sono in parte stati ottenuti nell'ambito del progetto OPTO WIND.



4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le metodologie e le soluzioni proposte hanno condotto alla definizione e allo sviluppo di un nuovo sistema di monitoraggio del funzionamento delle turbine eoliche: senza dover installare strumentazione fissa su ciascuna macchina, tramite misure di breve durata, cadenzate nel tempo, è possibile effettuare la diagnosi del funzionamento delle turbine. Le tecniche sviluppate hanno mostrato pertanto importanti prospettive nella diagnosi predittiva dei guasti, e l'ottimizzazione dell'efficienza e del ciclo di vita operativo. Le metodologie sviluppate potranno essere messe a punto solo con l'estensione della campagna sperimentale e l'applicazione a ulteriori test case.

Il progetto OPTOWIND ha permesso lo sviluppo di metodi che aprono molteplici possibilità:

- La possibilità di diagnosi precoce dei guasti, con notevole risparmio di tempi e costi.
- La possibilità di riprodurre il comportamento della turbina eolica anche in condizioni complesse di vento, come nel caso non stazionario, permetterà un risparmio in termini di tempi e costi: sarà infatti possibile valutare a priori, per via numerica, i parametri di controllo che permettano una maggiore produzione di energia elettrica, ovvero un miglior sfruttamento della risorsa eolica.

Dal punto di vista dell'impatto socio economico si potranno ottenere la valutazione quantitativa dell'incremento di produzione di energia rinnovabile e dei maggiori guadagni realizzabili sia dal lato del produttore di turbine (turbine più performanti) che da quello del produttore di energia (impianti più efficienti).

Le metodologie messe a punto nelle indagini su campo sono poi state sviluppate con test in galleria del vento e mediante modellazione numerica. Le tecniche hanno mostrato un potenziale notevole per la valutazione dei guasti e la diagnosi delle condizioni operative delle turbine. Tali tecniche sono quindi state validate anche su turbine di grande taglia ove erano disponibili i dati operativi e per via empirica era stato individuato un danno del gearbox. Grazie a tecniche di analisi complesse è stato possibile individuare il danno, mostrando l'efficacia delle tecniche sperimentali sviluppate.

I risultati conseguiti incoraggiano la ricerca verso:

- La validazione delle tecniche su turbine di piccola taglia
- La definizione di strumentazione standard per la diagnosi
- La definizione di un protocollo di acquisizione
- Lo sviluppo di strumenti di calcolo standardizzati per il post processing dei dati.

L'evoluzione del progetto ha potenziale applicazione industriale su larga scala, in quanto i risparmi e le ottimizzazioni produttive connessi all'impiego delle tecniche innovative sviluppate risultano di interesse assoluto nel campo delle turbine eoliche di piccola e media taglia.



I risultati delle indagini condotte nel progetto METODI INNOVATIVI PER DIAGNOSI PRECOCE DI GUASTI SU MACCHINE EOLICHE E OTTIMIZZAZIONE DELLA VITA A FATICA DEI COMPONENTI sono oggetto di pubblicazioni scientifiche:

L'articolo "*Analyzing the unsteady dynamic behaviour of a small wind turbine for urban applications*", – autori Francesco Castellani, Francesco Berno, Matteo Becchetti, Davide Astolfi, **Emanuele Piccioni**, - è in via di pubblicazione agli atti del convegno TURbWind 2018 - Research and Innovation on Wind Energy Exploitation in Urban Environment Colloquium.

A corredo delle attività di ricerca inerenti il progetto OPTO WIND sono state condotte ulteriori attività di ricerca che hanno riguardato lo sviluppo e l'applicazione di metodologie innovative per l'ottimizzazione multi obiettivo applicata al design degli edifici. I risultati di tali attività di ricerca sono oggetto di ulteriori pubblicazioni scientifiche:

L'articolo "*An innovative methodology for multi-objective optimization applied to building design*" – autori Cristina Brunelli, Francesco Castellani, Alberto Garinei, Lorenzo Biondi, Marcello Marconi, **Emanuele Piccioni**, Emanuele Bonamente- è stato pubblicato agli atti del 18° congresso nazionale del CIRAF (Perugia 5-6 Aprile 2018)

L'articolo "*A life-cycle approach for multi-objective optimization in building design: methodology and application to a case study*" – autori Cristina Brunelli, Francesco Castellani, Alberto Garinei, Lorenzo Biondi, Marcello Marconi, **Emanuele Piccioni**, Emanuele Bonamente- è stato sottomesso, in fase di revisione finale presso la rivista: Journal: Civil Engineering and Environmental Systems, manuscript ID: GCEE-2018-0129

Perugia, 14 Novembre 2018

Ph.D Emanuele Piccioni



Assegno di ricerca per il progetto di ricerca dal titolo:

ANALISI FLUIDO DINAMICA E OPERATIVA PER LA PREVISIONE A BREVE

TERMINE DELLA PRODUZIONE DI UN PARCO EOLICO

(FLUID DYNAMICS AND OPERATIONAL ANALYSIS FOR SHORT-TERM

PRODUCTION FORECAST OF A WIND FARM)

RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ SVOLTE

Perugia, 08 novembre 2018

Matteo Mana



Introduzione	3
1. Analisi di serie temporali ad alta risoluzione (SCADA)	4
2. Implementazione e analisi dei risultati di forecast ottenuti dall' accoppiamento diretto dei modelli metereologici con modelli locali ad alta risoluzione	6
3. Implementazione di 3 metodi per l'analisi di eventi estremi, metodi di fit curva di Gumbel, utilizzati per il calcolo della probabilità di venti estremi	9
4. Considerazioni conclusive.....	10



Introduzione

Il progetto di ricerca “ANALISI FLUIDO DINAMICA E OPERATIVA PER LA PREVISIONE A BREVE TERMINE DELLA PRODUZIONE DI UN PARCO EOLICO” svolto nel corso dell’anno ha previsto diverse attività descritte di seguito nel presente documento.

Le attività sono state incentrate in tre ambiti:

- Analisi di serie temporali ad alta risoluzione, studio e analisi di dati di turbine eoliche a risoluzione intorno al secondo.
- Implementazione e analisi dei risultati di forecast ottenuti dall’accoppiamento diretto dei modelli metereologici con modelli locali ad alta risoluzione.
- Implementazione di 3 metodi per l’analisi di eventi estremi, metodi di fit curva di Gumbel, utilizzati per il calcolo della probabilità di venti estremi; il software prodotto in Fortran implementa i metodi descritti in bibliografia.

I primi due punti elencati hanno prodotto un articolo pubblicato o in corso di pubblicazione, mentre il terzo ha prodotto del software utile all’azienda WindSim e verrà utilizzato nella prossima versione “WindSim 10”.

Nei seguenti capitoli sono descritti brevemente i contenuti e, dove possibile, le conclusioni ottenute nei tre studi; i rispettivi articoli sono elencati poi tra le considerazioni conclusive.

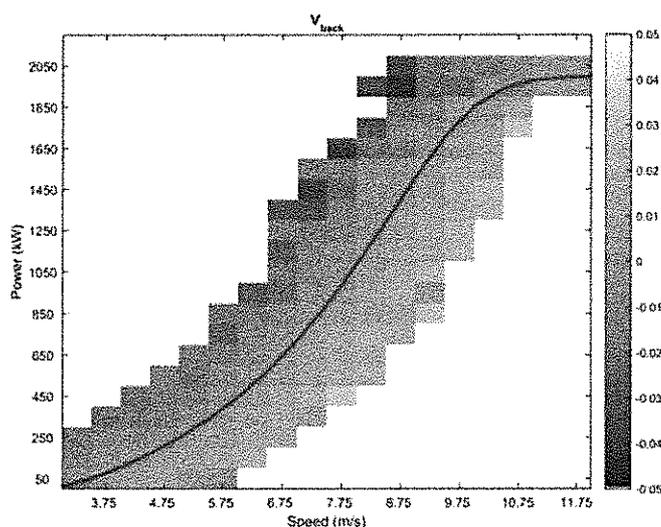
1. Analisi di serie temporali ad alta risoluzione (SCADA)

La nuova frontiera nel campo del forecast di produzione energetica evolve verso un forecast nell'immediato. Negli ultimi anni l'interesse si è spostato da un orizzonte di diverse ore (day-ahead) verso quello delle prossime ore (short term) ed in alcuni casi ai prossimi 10 minuti (very short term). Nell'ambito di questa visione si pone lo studio di analisi di serie temporali ad alta risoluzione. Le caratteristiche di dati di vento e produzione energetica cambiano se si passa da serie mediate sui 10 minuti a serie grezze con frequenza al secondo.

Nell'ambito dell'analisi della produzione di parchi eolici, normalmente, si utilizzano serie temporali con passo temporale di 10 minuti, sia per quel che riguarda le misurazioni anemometriche preinstallazione, sia per l'analisi dei data SCADA (sistema di acquisizione dei dati di funzionamento dei parchi eolici); analisi utili alla diagnosi dei malfunzionamenti delle turbine o semplicemente alla reportistica sul loro funzionamento.

Il passaggio all'analisi di dati ad una più alta risoluzione risulta quindi di interesse nell'ambito della ricerca svolta.

Le analisi svolte sono di tipo qualitativo e quantitativo: partendo dal concetto di curva di potenza di Langevin abbiamo sviluppato alcune variazioni alla stessa per l'analisi e la visualizzazione della dinamica della potenza e del vento in serie ad alta risoluzione.



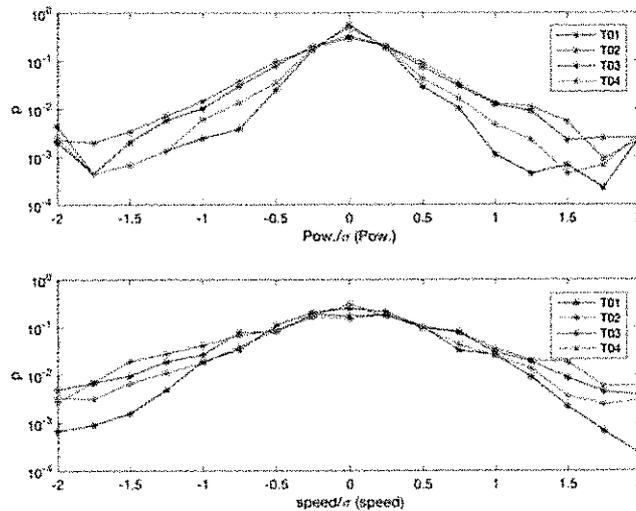
In figura si mostra come la variazione della velocità nelle diverse aree della curva di potenza.

Si vede chiaramente l'isteresi della curva di potenza, la zona gialla rappresenta i periodi in cui il vento sta crescendo e la turbina tarda a reagire mantenendo la potenza più bassa di quella nominale.

Viceversa, la zona blu rappresenta il periodo in cui il vento decresce mentre la turbina continua a produrre per inerzia.



A partire da tali analisi che riguardano le conseguenze della più alta risoluzione abbiamo analizzato le correlazioni tra potenza e vento e l'auto correlazione della potenza si vedono differenze nel caso di turbine in scia o meno.



In figura le turbine T02 T03 T04 sono in scia mentre la T01 non lo è, si può notare come questo porti a un diverso comportamento delle "code" a destra e a sinistra nelle immagini di autocorrelazione e crosscorrelazione energia e vento.

A partire da queste osservazioni si è riusciti a ottenere un indicatore di correlazione che può servire a determinare se la turbina si trova in scia o meno.

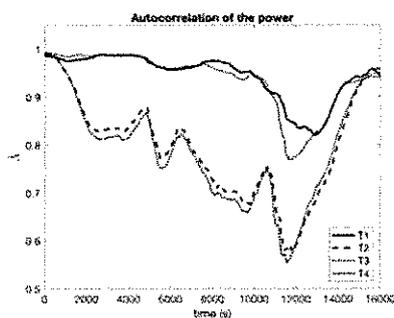


Figure 5. Wake Index $\tilde{\lambda}$ of the autocorrelation of the power. Mid-wake time series.

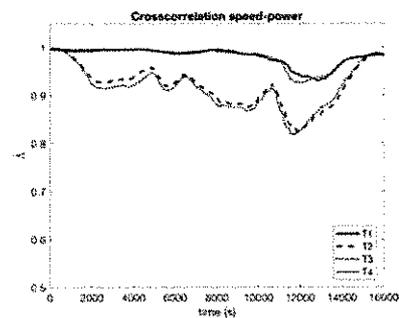


Figure 6. Wake Index $\tilde{\lambda}$ of the autocorrelation of the power. Mid-wake time series.

In figura si vede come gli indicatori di crosscorrelazione e autocorrelazione siamo quantitativamente diversi per le turbine T02 e T03 che in quel caso sono in scia rispetto alle turbine T01 e T04 che invece hanno vento indisturbato.



2. Implementazione e analisi dei risultati di forecast ottenuti dall'accoppiamento diretto dei modelli metereologici con modelli locali ad alta risoluzione

Nell'ambito dell'applicazione delle tecnologie di modelli deterministici ad alta risoluzione per il forecast di produzione di parchi eolici abbiamo studiato ed analizzato l'accoppiamento di un modello meteorologico ad alta risoluzione (2.5 km) con il modello CFD locale sviluppato da WindSim a 20m di risoluzione.

I risultati ottenuti nel fare un forecast con l'accoppiamento di questo tipo, puramente deterministico è stato confrontato con un metodo puramente statistico, basato su reti neurali.

Table 1. The forecasts performance NWP CFD using all nodes and ANN

Method	Bias	Correlation Coefficient (R^2)	RMSE	NMAE	RMSE Normalized	Nominal power (MW)	Number of points
Forecast ANN based	342.023	0.76	8789	0.1054	0.1592	55.2	2122
Forecast CFD based 120 m. high nodes	890.6	0.748	9502	0.102	0.1722	55.2	4509
Forecast CFD based 10 m. high nodes	-1679.174	0.667	10884	0.12	0.1972	55.2	4509

In tabella i risultati preliminari dei forecast basati su reti neurali (ANN base) e sull'accoppiamento diretto dei due modelli deterministici usando nodi a diverse altezze rispettivamente a 120 e 10 metri di altezza (CFD based).

Si nota come l'accoppiamento dei due modelli deterministici sia sensibile all'altezza dei nodi usati per l'accoppiamento l'NMAE e RMSE hanno valori molto più elevati nel caso di accoppiamento a 10 metri rispetto a quello a 120 metri, questo è dovuto al fatto che le turbine hanno altezza intorno ai 100 metri e quindi condizioni di vento più simili a quelle previste a 120 metri rispetto ai 10 metri.

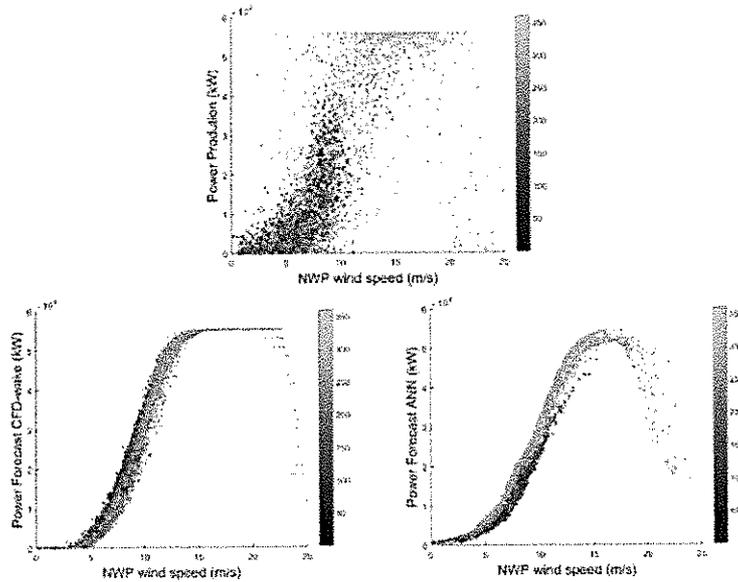


Fig. 2. Wind farm power curves: the x-axis is the NWP wind speed at node 7. The y-axis is the observed power (upper), the deterministic forecast (lower left), the statistical forecast (lower right). Colors are representative of the NWP wind direction.

In figura si notano le caratteristiche dei due forecast confrontati con i dati osservati in alto; si nota che il forecast da modelli deterministici in basso a sinistra segue una curva di potenza più netta mentre il forecast da modelli statistici in basso a sinistra segue una curva più bassa e meno definita, questo suggerisce come il modello puramente deterministico sia più appropriato per la previsione degli eventi estremi mentre quello statistico tende a smussare i picchi. Inoltre, si nota in tabella che il modello deterministico con nodi a 120 metri ha NAME simile a quello del modello statistico usando ANN. L'analisi scende quindi ad un livello più avanzato analizzando il forecast ottenuto da ogni singolo nodo.

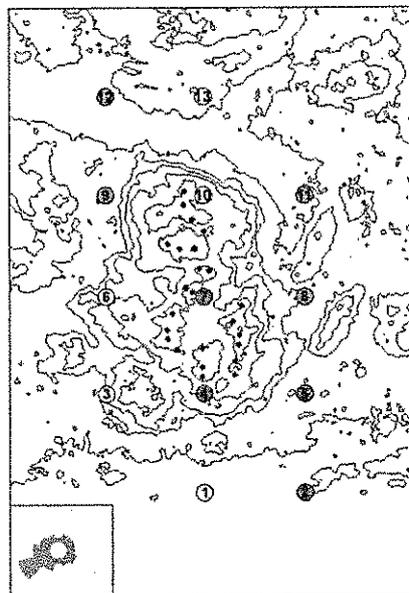


Fig. 3. Ranking of the power forecast performances depending on the selection of the NWP nodes (semaphore color scale from green to orange). Wind turbines are indicated in red. In green, a wind direction rose basing on the NWP data.



In figura i nodi di accoppiamento tra i due modelli sono colorati a seconda della qualità della loro performance. I punti verdi sono quelli che presi singolarmente danno un forecast migliore mentre in gialli e arancioni hanno qualità decrescente.

La posizione dei nodi viene quindi analizzata rispetto alla conformazione del terreno, le posizioni delle turbine e le direzioni del vento più frequenti.

Questo porta alla selezione di alcuni dei nodi per migliorare la qualità del forecast finale.

Table 2. The deterministic forecast performance depending on the NWP nodes selection

Subgroup of nodes)	Bias	Correlation Coefficient (R^2)	RMSE	NMAE	RMSE Normalized	Nominal power (MW)	Number of points
Central single node (7)	1148.17	0.737	9733	0.1053	0.1763	55.2	4509
Better nodes (2-4-5-7)	-186.967	0.751	9315	0.0985	0.1688	55.2	4509
Better nodes + northern node (2-4-5-7-10)	-282.108	0.745	9403	0.0994	0.1704	55.2	4509
Hill top nodes (4-7-10)	-142.469	0.735	9573	0.1022	0.1734	55.2	4509

In tabella si riportano le diverse configurazioni testate: il singolo nodo centrale (7), i nodi migliori (2-4-5-7), gli stessi più il 10 che è significativo per l'area a nord (2-4-5-7-10) e i nodi posti in cima alla collina (4-7-10).

Le conclusioni che si sono ottenute riguardano principalmente la scelta dei nodi nel fare l'accoppiamento, si nota come la presenza di un nodo apparentemente poco significativo come il numero 2 apporti un valore aggiunto alla qualità del forecast.

Questo è dovuto al fatto che il punto sia in una posizione aperta per quel che riguarda le direzioni principali, mentre i nodi meno "utili" si trovano in punti affetti da ricircolo per le direzioni principali.



3. Implementazione di 3 metodi per l'analisi di eventi estremi, metodi di fit curva di Gumbel, utilizzati per il calcolo della probabilità di venti estremi

Nell'ambito della analisi delle serie temporali della velocità del vento per l'industria eolica si pone lo studio di diverse tecniche di previsione del vento estremo nei prossimi 50 anni.

Tale analisi è necessaria per definire il tipo di classe di turbina che può essere installato in un determinato sito.

L'interesse a tale tipo di analisi è cresciuto negli anni e i metodi di analisi sono evoluti; il fit della curva di Gumbel hanno avuto migliorie e correzioni a partire da quanto descritto da Cook nel 1982 [1], migliorato da Harris nel 1996 [2] ed ulteriormente affinato dallo stesso Harris nel 1999 [3].

Il progetto si è quindi svolto partendo dallo studio dei tre metodi con complessità crescente e la loro implementazione in Fortran.

Le complessità riguardano principalmente la definizione degli eventi indipendenti che sono definiti da periodi in cui il vento supera una certa soglia ma che siano distanziati da un periodo di tempo abbastanza ampio da essere considerati eventi distinti e l'implementazione di un integrale numerico che non risulta essere banale.

Il codice prodotto è stato testato e verrà utilizzato nella prossima versione del software WindSim10.

[1] COOK, N. J. Towards better estimation of extreme winds. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1982, 9.3: 295-323.

[2] HARRIS, R. I. Gumbel re-visited-a new look at extreme value statistics applied to wind speeds. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1996, 59.1: 1-22.

[3] HARRIS, R. I. Improvements to the Method of Independent Storms'. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1999, 80.1-2: 1-30.



4. Considerazioni conclusive

Il progetto di ricerca “ANALISI FLUIDO DINAMICA E OPERATIVA PER LA PREVISIONE A BREVE TERMINE DELLA PRODUZIONE DI UN PARCO EOLICO” ha previsto nel corso dell’anno tre principali attività finalizzate ad una migliore comprensione e simulazione del funzionamento delle turbine eoliche e delle scie, per mezzo dello studio e analisi di serie temporali di impianto ad alta risoluzione; allo studio delle caratteristiche di modelli puramente deterministici per generare un forecast del giorno successivo e il confronto con modelli puramente statistici; allo studio dei metodi esistenti per l’analisi di serie temporali di vento e la previsione del vento estremo previsto nei prossimi 50 anni e alla implementazione di tali metodi in Fortran.

I primi due argomenti sviluppati hanno prodotto le seguenti pubblicazioni.

- Castellani, F., Mana, M., Astolfi, D., *An experimental analysis of wind and power fluctuations through time-resolved data of full scale wind turbines*; (2018) Journal of Physics: Conf. Series 1037 072042 doi :10.1088/1742-6596/1037/7/072042
- Mana, M., Astolfi, D., Castellani, F., Meißner, C., *Wind power forecast using high resolution mesoscale model: local CFD versus ANN downscaling*; Journal of Solar Energy Engineering; in review.

Mentre il terzo ha prodotto software che sarà utilizzato dall’azienda finanziante.

Perugia, 08/11/2017

Matteo Mana



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

Allegato N. 1 al punto
dell'ordine del giorno N. 8

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

IL DIRETTORE

D.D. n. 101/2018

Visti gli artt. 42 dello Statuto e 94 del Regolamento Generale di Ateneo;

Considerato l'art. 12 del Regolamento di funzionamento del Dipartimento di Ingegneria;

Vista la Call Horizon 2020 Grant agreement No ATTRACT 777222 - Progetto SubQin4Ts”;

Ricordata la scadenza del **31/10/2018** per la presentazione delle proposte di progetto;

Vista la comunicazione presentata in data **29/10/2018**, inoltrata per e-mail dal Prof. Daniele Passeri inerente la presentazione di un progetto di ricerca nell’ambito della Call sopracitata:

Ritenuta la propria competenza;

DECRETA

- A) Di approvare il progetto in premessa indicato e di seguito allegato;
- B) Di concedere nulla osta affinché il Prof. Daniele Passeri – coordinatore di unità, possa parteciparvi.

Il presente decreto sarà sottoposto alla ratifica del Consiglio nella sua prossima riunione.

Perugia, 29/10/2018

F.to Il Direttore
(Prof. Giuseppe SACCOMANDI)

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

Via G. Duranti, 93
06125 Perugia

Direttore
Segretario Amministrativo
Segreteria Amministrativa
Segreteria Didattica

Tel: +3975 585 3600
Tel: +3975 585 3653
Tel: +3975 585 3657-3652-3949-3686-3688 FAX 3654
Tel: +3975 585 3605-3603-3604



Sub-nanosecond multilayer quantum imagers in 3Ts and 4Ts **SubQin4Ts**

Terapixel radiation imagers using processing in 3 Tiers or 4 Tiers, for single quanta with sub-micrometer and sub-nanosecond resolution, for applications in the 30's and 40's.
Combination of development in sensors, electronics and assembly technology.

Coordinator: Erik H.M. Heijne, Inst. Exp. Appl. Physics Czech Technical University in Prague; erik.heijne@cern.ch

	Organization full name	Organization name / PIC number	Organization type	Contact person	Contact person email
Coordinator	Czech Techn. Univ	CVUT 999848744	university	E. Heijne	Erik.Heijne@cern.ch
Partner 2	Universita di Perugia	UniPG 999846319	university	D. Passeri	Daniele.Passeri@unipg.it
Partner 3	INFNPerugia	INFN 999992789	organization	L. Servoli	Leonello.Servoli@pg.infn.it
Partner 4	Univ de. Genève	UniGE 999974650	university	M. Benoit	Mathieu.Benoit@cern.ch
Partner 5	CERN	CERN 999988133	infrastructure	W. Snoeys	Walter.Snoeys@cern.ch
Partner 6	Univ. Hyogo - Japan	Hyogo 910096778	university	N. Teranishi	Teranishi@circus.ocn.ne.jp

Project Public Summary

Silicon pixel detectors master high densities of ionizing particles and high rates for imaging with single photons. A much more advanced generation of pixel imagers with single quantum processing would create extraordinary new possibilities, if based on the newest technologies in nanoelectronics. We will proceed in steps towards Terapixel imaging instruments for future accelerator experiments and industrial applications. Recording with sub-micrometer and sub-nanosecond precision comes within reach. Recent commercial imagers for visible light with millions of pixels consist of a silicon sensor layer and at least one separate CMOS signal processing layer, pixel by pixel interconnected, using copper-on-copper contacts. The extremely flat wafers are joined in a single step, and the sensor thinned to 1-4 μm of Si. The assemblies are used 'top-down' with light incident on the back-side 'BSI'. With more sophisticated signal processing, using added tiers of CMOS, a new generation of imaging detectors for single quanta in particle physics experiments can be developed. These also can be used in electron microscopes, for mass spectroscopy, and many other instruments can exploit the eminent signal to noise performance in these very small pixels. With cells of $3 \times 3 \times 3$ cubic μm and capacitance $\leq 0.5\text{fF}$ a low noise, of order 1 electron r.m.s can be achieved, while the ionizing particle delivers a signal of 50-100 electrons. Front-end amplifiers can be integrated in the sensor layer itself, or in the first tier of CMOS. Further processing and data compaction in real-time is performed in additional tiers, leading to 2T (two-tier), 3T or 4T assemblies, interconnected with technology, now developed in the large companies for memories and imagers. In February 2018, a memory stack of 96 silicon layers was announced at the IEEE Int. Solid State Circuits Conf., and will be commercialized as terabyte USB stick. A fully parallel imager with an ADC for each pixel was also presented. In the exploratory stage of this project, we acquire such advanced, but existing imagers with a thin sensitive layer. Signal characteristics will be studied in electron, proton and pion/muon beams. 100% detection efficiency will be verified, statistics of charge deposition and spreading between pixels determined, even if these imagers for visible radiation are not optimized for speed and precision in time. This creates the basis for design in following iterations, and then the desirable features of speed and data rate will be implemented. The measurements will be compared with simulation, using pixel detector simulators, such as Allpix² and TCAD and improvements in modelling will be studied. It is anticipated that several iterations are required over 5-7 year R&D. If then such imagers are manufactured in a commercial production line, by 2030 it should be possible to construct radiation imagers with hundreds of m^2 area at affordable cost.

1. Project description: objectives

Motivation and background. Electronics has invaded society and since a few decades, silicon chips are changing life all around the planet. All this was based on scientific discoveries in physics and chemistry, and technological developments in academia and in industry. In return, scientific research increasingly uses electronic tools, in the experiments themselves and for the analysis of the resulting data. Nuclear and particle physics have been early adopters, but recently it looks as if other fields are more imaginative, such as in scientific/commercial DNA analysis instruments. In a typical CERN LHC accelerator experiment we now use close to one million dedicated silicon chips for recording data at very high rate. In fact, 40 million complete pictures are taken every second, although at this time only a few thousand of these can be selected for detailed study.

Today, it appears that the electronics used in our science field does not quite keep up with the electronics available in commercial applications. Notepads, Apple-watch and phones use 2016 or already 2018 electronics technologies that are 6 or 7 generations ahead of what is used in the LHC experiments. These exploit mostly 1995 technology, and the semiconductor sensor-devices are even made with 1980 state-of-the-art. For example, on sensors at most a 2 metal-layer surface is available, and not always very reliable, compared with 10 or more metal layers in CMOS. Upgrades planned for 2020, so far aim to exploit 90nm or 65nm CMOS generations, that originated more than a decade ago.

We propose steps to be taken to learn about nano-electronics with CMOS chip design at 28nm and below, in a practical context of silicon imagers. This could then become a starting point for innovative approaches in future scientific experimentation, and for next generation particle imaging detectors in particular. The main advantages of these nano-technologies are reduced power dissipation for ever more sophisticated signal processing; timing accuracy in the few ps domain; increased memory for local storage of multiple data; on-chip adjustments and feedbacks; through-silicon vias of deep sub- μm diameter. Recent memory uses >10 contact holes per square μm , all through a thin silicon chip. The 3D multi-layer stacking allows innovative on-chip and inter-chip communication. We must begin to exploit RF and optical signals. While all this appears as an oversized challenge, here as a first iteration we propose modest steps that create the basis for much more ambitious developments of specific instruments in following years. Eventually, Terapixel systems can improve the capability of experiments, while even reducing the size and cost at higher energies, by providing adequate momentum determination over shorter pathlength.

Proposed objectives. Within a one-year, modestly funded project it is excluded to aim at any sort of chip design, in whatever technology. The more so for pixel detectors, which present the most challenging area for nanoelectronics development. If we look to industry, imagers for visible radiation have been developed in recent years towards smaller and thinner pixels, with low noise and dark current that is measured in electron charges per second. These devices now approach sensitivity for single photons, and could be commercially available. Manufacturing, even at such level of complexity, is practically mature and the cost has dropped considerably, in particular for large batches of silicon wafers. Our **first objective** is to catalogue various imager and memory technology developments around the world, which may have potential for future radiation imaging instruments, establish contacts with the respective manufacturers, and acquire a small number of their most advanced devices for evaluation. Recent imaging sensors are produced in an optimized silicon CMOS process, and the increasingly sophisticated electronics readout of the pixel matrix is now often placed in a different silicon CMOS layer, with interconnects between the sensor cells and the associated processing circuits. The assemblies in 2 tiers progressively look similar to the hybrid pixel detectors, such as particle physics experiments have used them since twenty years. Except that the visible imagers use much thinner copper-copper interconnects, which are realized by wafer-to-wafer bonding. This is much more economical than the chip-to-chip solder bump bonding, used for our traditional pixel detectors. Moreover, smaller and thinner pixels, with much lower noise will open up new

domains in precision for time and position. These devices offer enhanced sensitivity and stronger pattern recognition.

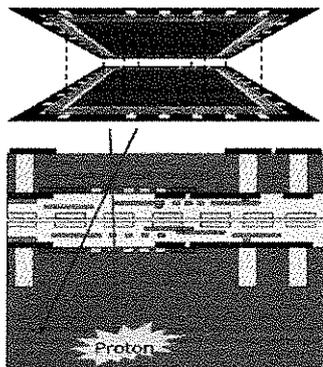
Our **second objective** is to evaluate practical performance and possible problematic issues for application as particle tracker and vertexer, using particle test beams of electrons and protons. We intend to ascertain that the projected devices can record reliable submicron particle positions with the charge liberated in only 1 to 3 μm of Si. Expressed doubts on efficiency need to be addressed.

The **third objective** to prepare for major innovation in pixelated sensors will be the verification of the simulation tools for such devices, by introducing correct models and actual parameters. It is expected that TCAD, Allpix² or Geant4 may need fine tuning for the currently still extreme situation of very thin layers. We must properly take into account the energy transfer/charge generation due to a Minimum-Ionizing-Particle MIP in very thin silicon layers and use higher abstraction level (e.g. combined device/circuit) TCAD simulations. Our **overall objective** is the establishment of a firm basis that justifies subsequent investments in development of Terapixel instruments with area of several hundreds of m^2 .

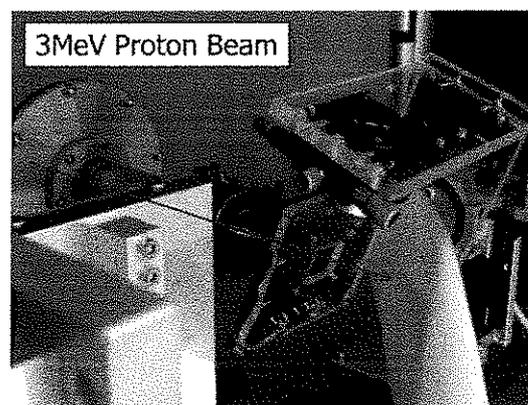
2. Technology benchmark: comparison with existing technology

The imager technologies that we intend to evaluate are far ahead of the manufacturing practices for the current particle trackers in the LHC experiments or the imaging devices installed in electron microscopes or other analytical instruments. Therefore, we estimate that a 10-year timeframe or even longer, may be needed to come to instruments that can be realistically manufactured and installed in the physics experiments. The current proposal will entail intensive contacts with industrial and academic players, so as to establish the viability of an approach in which large-scale industrial manufacturing will be possible, while performance can be optimized for the specific needs of the physics goals.

A 3D CMOS pixelated assembly, featuring even two stacked sensor layers and readout integrated in the sensor tiers, has been developed in 2010-2014 by the INFN and University of Perugia, for measuring particle direction, impact point and trajectory within a single, low-mass detector. Some thin, fully functional CMOS Active Pixel Sensors (APS) were made in a 130nm CMOS 3D GlobalFoundries/Tezzaron technology. This two-tiers prototype has been tested with X-rays for calibration purposes and under particle beams of different energies, e.g. 3MeV proton beam at LABEC in Florence (Italy) and 62MeV proton Beam at INFN LNS in Catania (Italy). This work has been documented, e.g. in the Journal of Instrumentation: D. Passeri et al., "A two-tier monolithically stacked CMOS Active Pixel Sensor", 2014 JINST 9 C05038 and the pictures below show a cross-section and the practical beam setup.



Schematic of the 2012 stacked device, even with two image sensor layers, which themselves contain the readout circuits.



The 2012 testbeam setup with the imager.

Also, experience has been acquired earlier in the testing of dedicated but more classical CMOS imagers. At that time it was possible for our Italian team to obtain these imagers with custom modifications, e.g. without colour filter and microlenses arrays. In this earlier project already we aimed to evaluate various parameters of such commercial CMOS radiation sensors. What is different today, is the much higher level of industrial manufacturing capabilities, that go far beyond the ~2010 situation, as it was then available. Moreover, now we hybridize a signal-processing CMOS chip with a sensor chip, instead of two sensor chips. We intend here to investigate the realistic possibilities for accessing the current, improved 3D stacking technologies, and evaluate their new features in precision, signal processing, and reproducibility. We hope to obtain adequate information to achieve also improved simulations of these experimentally determined characteristics. Pictures from the recent commercial imagers are under copyright, and cannot be illustrated here, before we have had the necessary contacts.

The collaboration between University and INFN of Perugia and LFoundry (www.lfoundry.com), formerly Micron Technology, a state-of-the art foundry in the field of CMOS imagers, would eventually allow, in a follow-up phase, the design of dedicated pixel and/or evaluating technology options usually not included within MPW run portfolios. In a parallel approach, and with a view on the global situation, the contacts with our Japanese collaborators most likely will enable the evaluation of the potential capabilities of their imaging devices. Suppliers from the Far East appear at this time to be the only ones who already manufacture multi-tier imagers in quantity. The advice and contributions by professor Teranishi and his team is critical in this respect. Advice and contact with 3D specialists in IMEC, Belgium also would provide precious elements for future strategy and planning.

3. Envisioned innovation potential: benefit for EU society and citizens on next decade horizon

The time horizon for results from our proposed actions is estimated around 2030, and extending beyond that, into experiments at future facilities that may see construction only between 2040 and 2050. In the meantime, however, successive iterations of quantum imaging devices can find practical spin-off applications, as it has been the case since ~2000 with the developments of the Medipix and Timepix imagers by the consortia, in which Erik Heijne and colleagues at CERN have been active since 1998. It should be mentioned that these pixel imagers count as the most successful instrument in terms of use outside pure science. The future, thin pixel instruments that we propose to develop, will be specifically useful for high-precision electron detection. This is an essential feature of cryo-electron microscopes, which are mostly used to understand the molecular and atomic structure of nano-organisms such as virus. A second important field of future application would be mass-spectroscopy imaging, where localized molecular compositions can be observed in real time. Such apparatus exploits near-picosecond Time-of-Flight (ToF) measurement of the atomic species. This allows to image the molecular composition of a specimen, which could be a piece of cancerous tissue, just taken from a patient in the operating room. Further, it may turn out that our quantum imagers can be applied in the visual wavelength range, and then present enhanced, sophisticated possibilities. With a view on the rapidly extending range of applications of Medipix-Timepix instruments, it can be foreseen that also the new devices in this family at least will follow a similar trend, and may branch into quite unexpected directions.

An important issue in the exploitation of previously non-existing devices or technologies, is the process of making users and industries aware of the new possibilities. Often the potential of a new approach for an older application is not recognized or not accepted, by ignorance or by conservatism. Explicit, energetic and vivid explanations of the new method must be developed. While worldwide acceptance would be aimed at, such new single-quantum imaging instruments should preferably come from Europe, if the ideas have originated here. Besides publications in prominent journals, new ways of promotion have to be carefully considered.

4. Project implementation, budget breakdown and deliverables: steps in 12 months with 100 k€

We foresee a budget as follows:

acquisition of experimental devices and evaluation boards with 2 or 3 suppliers	subtotal	18 k€
- UNIPG (Optical Sensor Development Tools VGA 1/13 SOC HB, Optical Sensor Development Tools Demo Kit)	6 k€	
- IEAP	12 k€	
postdoc/ master students for 6 months, or longer in part-time	subtotal	60 k€
UNIPG (ONE year research grant (Assegno di Ricerca)	24 k€	
IEAP (Postdoc, Master student in engineering)	18 k€	
UniGE (part-time post-doctoral student)	18 k€	
cabling, ancillary equipment, consumables for beam test periods		8 k€
travel and other cost for the beam test periods		10 k€
conference fees and travel for students		4 k€
	TOTAL	100 k€

Note that the 100k€ budget does not allow to request any specific adaptation of devices for our requirements, so we will obtain devices 'as is' and have to adapt ourselves to their characteristics. These most likely include undesirable top layers with color filters and lenses, pixel borders that separate the sensitive volume in hermetic cells, etc. The readout architecture will also be a given, but we have to be allowed access to the basic charge signals in the pixels, and should be able to apply a variety of exposure times. If triggering is needed, we may have to build this ourselves.

The budget does not allow to cover any actual salary cost of the non-student participants. The activity for this proposal is expected to be a part of their usual duties.

provisional work plan

WP 4.1. devices

February - May 2019 catalogue of existing and relevant commercial imagers for visible radiation.
idem establishing contacts with suppliers and professional consulting bodies,
such as the imager group at IMEC, Leuven.

April - June 2019 acquisition of adequate number of test devices including evaluation boards.

May - July 2019 preparation of experimental setups for beam testing in proton, pion and electron beams.

WP 4.2. evaluation and test in beams

June-November 2019 several test beam periods, each of 2-3 days, as needed.

For some of the beams, requests have to be made well in advance. Beam access at Fermilab seems possible, parasitically with ATLAS. For several beam facilities in Italy, short term access is possible.

WP 4.3. data analysis and reporting

July 2019 - March 2020 analysis of the beam data and comparisons with the simulation results from activity WP 4.4.

February 2020-July 2020 reporting of data resulting from beam tests at conferences.

WP 4.4. simulation of devices and energy deposition + charge generation in the thin layers

March - June 2019 setting up of the simulation tools, simulation scenarios and development of the needed software tool for evaluation of the different models. Evaluation of the available energy deposition models.

June 2019 - Feb 2020 executions of simulations and comparisons with experimental results; fine-tuning of the simulation tools and energy deposition models.

WP 4.5. final reporting

including a preliminary planning for follow-up proposal
April - Sept 2020 dissemination after the project : Summary (2000 characters), poster, scientific article with results.



Decreto n. 102 del 30/10/2018
Approvazione idea di sviluppo progettuale di comparto

IL DIRETTORE

Visto l'art. 8 del Regolamento di Funzionamento del Dipartimento di Ingegneria;

Vista la delibera di Consiglio di Dipartimento del 07/06/2018, con la quale è stato approvato il documento PQ04_IO01_M01 DPP1 " studio di fattibilità/documento preliminare relativo alla realizzazione del nuovo edificio destinato ad ospitare i laboratori LAR5, Spray-Lab, Motori e Celle a combustibile del Dipartimento di Ingegneria;

Vista la nota prot. n. 82612 del 22/10/2018 con la quale il RUP Ing. Antonio Giordano ha trasmesso l'ipotesi del progetto di comparto, corredata dal cronoprogramma, che prevede oltre agli interventi previsti anche un'idea di sviluppo per l'intero comparto di competenza dell'Università;

Sentito il Prof. Francesco Di Maria, referente del Dipartimento di Ingegneria in merito alle fasi progettuali ed istruttorie del progetto in parola;

Considerato che tale ipotesi necessita di un atto formale di approvazione da parte del Dipartimento di Ingegneria, così come pure del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, entrambi interessati allo sviluppo dell'idea progettuale prospettata relativa al comparto;

Richiamato l'art. 8 lettera e del Regolamento di Funzionamento del Dipartimento di Ingegneria;

Ravvisata l'impossibilità di convocare un Consiglio di Dipartimento entro il termine del 5 novembre p.v., termine assegnato dal RUP per l'approvazione del progetto di comparto;

Stante l'urgenza di provvedere nel merito;

DECRETA

Di approvare l'idea di sviluppo dell'intero comparto di competenza dell'Università così come illustrata dettagliatamente negli allegati al presente decreto (allegato n.1: Progetto di comparto; allegato n. 2: Cronoprogramma).

Il presente decreto sarà portato a ratifica del prossimo Consiglio di Dipartimento.

Perugia, 30/10/2018

Il Direttore
F.to Prof. Giuseppe Saccomandi



inviato in 3 al punto
dell'ordine del giorno N. 8

Dipartimento di Ingegneria Università degli Studi di Perugia

Decreto n. 103/2018

Oggetto:

Approvazione atti, e
graduatoria di merito per
il conferimento di una
borsa di studio per
attività di ricerca post-
laurea procedura di
selezione comparativa
D.D. n. 103/2018 –
Resp. Prof. ssa Buratti

Il Direttore

- VISTO** il Regolamento concernente il conferimento di borse di studio per la ricerca e la formazione avanzata, emanato con DR. N. 1527 del 05/07/2005;
- VISTO** il chiarimento interpretativo sull'art.18 c. 5 L. 240/210 espresso dall'Amministrazione Centrale di questo Ateneo con Circolare Prot. 2014/0017480 del 10/06/2014;
- VISTO** il D.L. n. 5/2012, art. 49, comma 1, lettera h), p.5;
- VISTO** il Decreto del Direttore del Dipartimento di Ingegneria n. 87/2018 del 02/10/2018 che autorizza la spesa e l'emissione del bando per l'attribuzione di una borsa di studio per attività di ricerca post laurea dal titolo "**Caratterizzazione sperimentale e simulazione numerica del comportamento di vetrate innovative a base di aerogel**" per lo svolgimento di attività presso il Dipartimento di Ingegneria;
- VISTO** l'avviso di procedura comparativa D.D. n. 90/2018 pubblicato in data 09/10/2018;
- ESAMINATI** i verbali della riunione della Commissione giudicatrice redatti in data odierna;
- VERIFICATA** la regolarità della procedura,

DECRETA

Art. 1 – Sono approvati gli atti della procedura di valutazione comparativa D.D. n. 90/2018, per il conferimento di una borsa di studio, per l'espletamento di attività presso il Dipartimento di Ingegneria, della durata e per l'importo ivi indicati;

Art. 2 – E' approvata la seguente graduatoria di idoneità della procedura di valutazione comparativa di cui all'art. 1 del presente decreto:

1^ - MERLI FRANCESCA (95/100)

Art. 3 – E' dichiarata assegnataria della selezione di cui all'art. 1 del presente decreto la **Dott. Ssa MERLI FRANCESCA** a cui si conferisce la borsa di studio oggetto della sopra richiamata procedura comparativa.

Il presente decreto sarà portato a ratifica del prossimo Consiglio di Dipartimento.

Perugia, 30/10/2018

Il Direttore

F.to Prof. Giuseppe Saccomandi



Allegato N.4..... al punto
dell'ordine del giorno N.8.....

Università degli Studi di Perugia Dipartimento di Ingegneria

D.D. n. 106/2018

Il Direttore del Dipartimento di Ingegneria

Oggetto:

Procedura di selezione
comparativa per titoli
e colloquio, per
l'assegnazione di un
contratto di
prestazione lavoro
autonomo – Resp.
Prof. Banelli

VISTA la Delibera del Consiglio del Dipartimento di Ingegneria nella seduta del 26/10/2018 che autorizza la spesa e l'emissione del bando per l'attribuzione di un contratto di prestazione lavoro autonomo dal titolo "**Tecniche di campionamento e ricostruzione di segnali su grafo applicate a reti di sensori wireless dotate di sistemi di Energy-harvesting**" per lo svolgimento di attività presso il Dipartimento di Ingegneria;

VISTA la comunicazione del Prof. Paolo Banelli, concernente la Commissione giudicatrice del concorso per l'attribuzione di detto contratto;

VISTO l'avviso di procedura comparativa D.D. n. 104/2018 pubblicato in data odierna

DECRETA

di nominare la commissione giudicatrice delle procedure per l'attribuzione di quanto sopra richiamato, come di seguito indicato:

Prof. Paolo Banelli	P.A.	Presidente
Prof. Paolo Valigi	P.O.	Membro
Dott. Luca Rugini	Ricercatore	Membro
Dott. Giuseppe Baruffa	Ricercatore	Supplente
Dott. Fabrizio Frescura	Ricercatore	Supplente

Il presente decreto sarà portato a ratifica del prossimo Consiglio di Dipartimento.

Perugia, 07/11/2018

Il Direttore
(Prof. Giuseppe Saccomandi)
F.to Giuseppe Saccomandi



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

D.D. n. 107/2018

Oggetto:

Approvazione proposta progettuale a valere sul "Bando pubblico per il finanziamento di progetti di ricerca finalizzati alla previsione e alla prevenzione dei rischi geologici" (D.D. n. 449/STA del 01/10/18 del MATTM)

21 novembre 2018

Allegato N. 5 al punto
dell'ordine del giorno N. 8

IL DIRETTORE

Visto il D.D. n. 448/STA del 01/10/2018, con cui il MATTM ha approvato il testo del Bando pubblico "per il finanziamento di progetti di ricerca finalizzati alla previsione e alla prevenzione dei rischi geologici", e il successivo D.D. n. 449/STA del 01/10/2018, con cui è stato emanato il Bando suddetto, poi pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale – Serie Generale n. 248 del 24/10/2018;

Preso atto che finanziamento è riservato a progetti di ricerca di interesse per il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione generale per la salvaguardia del territorio e delle acque, relativi alle aree di ricerca strategica che seguono:

- a) Proposte metodologiche per la mappatura della pericolosità da frana connessa a eventi sismici (frane sismoindotte), sviluppate anche sulla base di verifiche geomorfologiche dirette e di processi di back analysis;
- b) Metodologie per la valutazione dell'efficacia sulla laminazione delle piene in piccoli bacini costieri di sistemi di casse d'espansione in linea realizzate con briglie con bocca tarata;
- c) Tecniche e metodologie per l'individuazione, il dimensionamento, l'analisi di stabilità e la messa in sicurezza di cavità sotterranee in aree urbane;
- d) Valutazione della portata di massimo tornaconto, ovvero del tempo di ritorno che minimizzi la somma del costo delle opere e del danno prodotto dallo straripamento connesso, nella progettazione di interventi di mitigazione del rischio di alluvioni, in relazione anche alle associate misure di gestione del rischio residuo;

Tenuto conto che i soggetti ammessi a presentare domanda di partecipazione sul bando di cui trattasi sono le Università legalmente riconosciute e gli Enti pubblici di ricerca regolarmente costituiti da almeno cinque anni, nelle forme prescritte dalla legge;

Considerato che, come indicato all'art. 2.6 del Bando, ogni Università, attraverso i vari Dipartimenti e strutture che compongono l'Ateneo, può partecipare ad un solo progetto di ricerca per ciascuna delle aree di ricerca strategica con una sola Unità operativa per ciascuna area;

Rilevato che ciascun progetto di ricerca è presentato dal Coordinatore scientifico e la domanda di partecipazione deve essere sottoscritta con firma elettronica dal legale rappresentante della struttura universitaria o ente di ricerca coinvolto;

Preso atto che il Dipartimento di Fisica e Geologia intende presentare (con il Dipartimento di Ingegneria) la seguente proposta di partecipazione dal titolo "*Le cavità sotterranee in ambito urbano da rischio a risorsa: studio e valorizzazione del sottosuolo della città di Perugia*", di cui è Coordinatore Scientifico il Prof. Corrado Cencetti dell'Università degli Studi di Perugia – Dipartimento di Fisica e Geologia, presentata nell'ambito dell'Area di ricerca strategica "*Tecniche e metodologie per l'individuazione, il*

Via G. Duranti, 93
06125 Perugia

Direttore
Segreteria Amministrativa
Segreteria Amministrativa
Segreteria Didattica

Tel: +3975 585 3600
Tel: +3975 585 3653
Tel: +3975 585 3657-3652-3949-3686-3688 FAX 3654
Tel: +3975 585 3605-3603-3604



dimensionamento, l'analisi di stabilità e la messa in sicurezza di cavità sotterranee in aree urbane", della durata di 18 mesi, per un importo complessivo pari ad € 197.000,00, di cui i costi stimati delle attività progettuali del Dipartimento di Fisica e Geologia ammontano a € 129.400,00 e per il Dipartimento di Ingegneria ammontano a € 67.600,00, con la previsione di attivazione di n. 5 assegni di ricerca e n. 1 borsa di studio;

Considerato che al progetto suddetto partecipano le seguenti unità di personale afferenti al Dipartimento di Ingegneria:

- Antonio BORRI (Professore Ordinario ICAR/08)
- Manuela CECCONI (Professore Associato ICAR/07)
- Vincenzo PANE (Professore Ordinario ICAR/07)
- Fabio RADICIONI (Professore Ordinario ICAR/06)
- Aurelio STOPPINI (Professore Associato ICAR/06)

Considerato che, in caso di ammissione a finanziamento, il Dipartimento di Ingegneria si impegna a fornire tutte le risorse necessarie (strutture, apparecchiature, personale etc...) per lo svolgimento del progetto ad esso affidate;

Vista l'urgenza di procedere con la sottoscrizione della documentazione necessaria alla presentazione del progetto suddetto, che dovrà pervenire entro il 23/11/2018, trentesimo giorno dalla pubblicazione del Bando in Gazzetta ufficiale (G.U. n. 248 del 20/10/2018);

DECRETA

di approvare la proposta progettuale dal titolo "*Le cavità sotterranee in ambito urbano da rischio a risorsa: studio e valorizzazione del sottosuolo della città di Perugia*", di cui è Coordinatore Scientifico il Prof. Corrado Cencetti dell'Università degli Studi di Perugia - Dipartimento di Fisica e Geologia, presentata nell'ambito dell'Area di ricerca strategica "*Tecniche e metodologie per l'individuazione, il dimensionamento, l'analisi di stabilità e la messa in sicurezza di cavità sotterranee in aree urbane*", della durata di 18 mesi, per un importo complessivo pari ad € 197.000,00 (€ 129.400,00 per il Dipartimento di Fisica e Geologia e € 67.600,00 per il Dipartimento di Ingegneria), con la previsione di attivazione di n. 5 assegni di ricerca e n. 1 borsa di studio, da presentare a valere sul Bando pubblico "per il finanziamento di progetti di ricerca finalizzati alla previsione e alla prevenzione dei rischi geologici" di cui al D.D. n. 449/STA del 01/10/18 (G.U. n. 248 del 24/10/2018) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare;

di mettere a disposizione, in caso di ammissione al finanziamento, tutte le risorse necessarie (strutture, apparecchiature, personale etc.) per lo svolgimento della parte di progetto affidata al Dipartimento di Ingegneria;

di proporre al Magnifico Rettore la sottoscrizione, mediante firma elettronica, della documentazione necessaria alla presentazione del progetto suddetto e di tutti gli atti connessi e conseguenti all'eventuale ammissione a finanziamento del progetto stesso.

Il presente decreto verrà sottoposto a ratifica del Consiglio di Dipartimento nella prossima seduta utile.

Il Direttore
(Prof. Giuseppe Saccomandi)

F.to Giuseppe Saccomandi



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

D.D. n. 108/2018

OGGETTO: POR FESR 2014-2020
Azione 2.3.1 – Progetti medicina
personalizzata.
Determinazioni in ordine al
progetto CARE

Allegato N. ⁶ al punto
dell'ordine del giorno N. ⁸
23 novembre 2018

IL DIRETTORE

Visto il Regolamento (UE) n. 1303/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 dicembre 2013, recante disposizioni comuni sul Fondo europeo di sviluppo regionale, sul Fondo sociale europeo, sul Fondo di coesione, sul Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale e sul Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca e disposizioni generali sul Fondo europeo di sviluppo regionale, sul Fondo sociale europeo, sul Fondo di coesione e sul Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca, e che abroga il regolamento (CE) n. 1083/2006 del Consiglio;

Vista la Determina della Giunta Regionale dell'Umbria del 23 febbraio 2015, n. 184, con cui si è preso atto della decisione di esecuzione della Commissione europea C(2015) 929 finale del 12 febbraio 2015 che approva il Programma FESR Umbria 2014-2020 – CCI 2014IT16RFOP019;

Preso atto dei criteri di selezione del Programma Operativo Regionale FESR 2010-2020, ai sensi dell'articolo 110, comma 2, lettera a) del Reg. UE n. 1303/2013 – approvati dal Comitato di Sorveglianza unitario del 7 luglio 2015;

Vista la Determinazione Direttoriale della Regione Umbria n° 6966 del 3 luglio 2018 avente ad oggetto: "POR FESR Umbria 2014-2020. Approvazione documento "Sistema di Gestione e di Controllo versione 2" per il 2014-2020;

Visto il documento "Guida alle Opzioni semplificate in materia di costi" (EGESIF_14-0017) redatta dai Servizi della Commissione responsabili dei fondi SIE, in consultazione con i membri del gruppo di lavoro tecnico del FSE e del gruppo di esperti per i fondi strutturali e di investimento europei;

Evidenziato che il POR FESR Umbria 2014-2020 è suddiviso in otto Assi prioritari, tra i quali l'Asse II - "Crescita e Cittadinanza Digitale", il cui obiettivo specifico è quello della digitalizzazione dei processi amministrativi e diffusione di servizi digitali pienamente interoperabili, che comprende l'Azione 2.3.1 "Soluzioni

Via G. Duranti, 93
06125 Perugia

Direttore
Segretario Amministrativo
Segreteria Amministrativa
Segreteria Didattica

Tel: +3975 585 3600
Tel: +3975 585 3653
Tel: +3975 585 3657-3652-3949-3686-3688 FAX 3654
Tel: +3975 585 3605-3603-3604



tecnologiche per la digitalizzazione e l'innovazione dei processi interni dei vari ambiti della Pubblica Amministrazione nel quadro del Sistema pubblico di connettività quali ad esempio la sanità, il turismo, le attività e i beni culturali, i servizi alle imprese", la cui responsabilità è in capo al "Politiche per la Società dell'informazione ed il sistema informativo regionale";

Considerato che il "Protocollo generale d'intesa fra Regione Umbria e Università degli Studi di Perugia, in attuazione dell'articolo 1, comma 1 del d.lgs. 21 dicembre 1999, n. 517, del d.p.c.m. 24 maggio 2001 ed ai sensi della legge 30 dicembre 2010, n. 240 e della legge regionale 12 novembre 2012, n. 18, di cui alle DGR 463/2013 e 528/2015", sottoscritto in data 20/04/2015, disciplina la costituzione, l'attivazione, l'organizzazione e il funzionamento dell'Azienda ospedaliero - universitaria di Perugia e dell'Azienda ospedaliero - universitaria di Terni e i rapporti tra l'Università e la Regione in materia di attività integrate didattica, ricerca ed assistenza svolte nell'ambito del Servizio Sanitario Regionale;

Tenuto conto che con D.G.R. n. 616 del 30 maggio 2016 avente ad oggetto: "Agenda digitale dell'Umbria. Promozione della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica per lo sviluppo della società dell'informazione. Istituzione Tavolo tecnico", la Giunta Regionale dell'Umbria ha stabilito, al punto 2, di istituire un Tavolo tecnico finalizzato all'attuazione dell'intesa con l'Università degli studi di Perugia, e all'individuazione, tra l'altro, di una struttura per la ricerca scientifica e l'innovazione in materia di tecnologie digitali e sviluppo della società dell'informazione a supporto della comunità regionale;

Considerato che nell'ambito del suddetto tavolo tecnico sono state presentate e discusse possibili idee progettuali relative a soluzioni ICT applicate alle scienze omiche, con particolare riferimento a:

- un sistema informativo regionale per lo scompenso cardiaco e le patologie vascolari, con finalità di medicina predittiva, di diagnosi e terapie personalizzate
- la costituzione di una biobanca dell'Umbria;

Ricordato che con Deliberazione di Giunta regionale n. 822 del 23 luglio 2018 avente ad oggetto: "POR FESR 2014-2020 Azione 2.3.1 - Progetti medicina personalizzata", la Giunta Regionale dell'Umbria ha preso atto che le due progettazioni di massima CARE e UMBRIA BIOBANK sono coerenti con gli obiettivi dell'azione 2.3.1 del POR FESR 2014-2020, e ha, pertanto, individuato l'Azienda Ospedaliera di Perugia come beneficiario e



ha stabilito di procedere con la definizione di piani di progetto, da presentare a cura dei soggetti proponenti;

Visto che con Deliberazione di Giunta regionale n. 1304 del 19/11/2018 avente ad oggetto: "POR FESR 2014-2020 Azione 2.3.1 - Progetti medicina personalizzata - Nuove determinazioni", la Giunta ha, tra l'altro, (i) individuato l'Università degli Studi di Perugia come ulteriore beneficiario degli interventi CARE e UMBRIA BIOBANK nell'ambito dell'azione 2.3.1 del POR FESR 2014-2020; (ii) ha approvato lo schema di Convenzione esecutiva (di all'Allegato 1 al presente decreto, per costituirne parte integrante e sostanziale), relativa alle condizioni per la concessione del finanziamento; (iii) ha autorizzato l'inserimento dei due progetti nel PDRT 2018 e (iv) ha dato mandato al Servizio *Politiche per la Società dell'informazione ed il sistema informativo regionale* di procedere con gli adempimenti successivi;

Vistala nota prot. n. 92568 del 22/11/2018, con la quale la Regione Umbria ha trasmesso all'Università e all'Azienda Ospedaliera di Perugia, oltre alla succitata Convenzione esecutiva, anche il business case delle due proposte progettuali CARE e UMBRIA BIOBANK, unitamente al format del piano di progetto esecutivo, che dovrà essere perfezionato e trasmesso alla Regione entro e non oltre il 26/11/2018, al fine di consentire il completamento dell'istruttoria tecnico-amministrativa volta a verificare la completezza, adeguatezza e conformità dei piani di progetto esecutivi dei due progetti di cui trattasi, effettuata da parte del Servizio *Politiche per la Società dell'informazione ed il sistema informativo regionale*,

Considerato che la Regione Umbria ha destinato al Progetto CARE un importo massimo di € 550.000,00 a valere sulle risorse del POR FESR 2014-2020 Azione 2.3.1;

Preso atto che il Dipartimento di Ingegneria intende partecipare alla realizzazione del Progetto CARE assieme ai seguenti Dipartimenti:

- Dipartimento di Matematica ed Informatica
- Dipartimento di Economia
- Dipartimento di Medicina.

Considerato che, in caso di ammissione a finanziamento, il Dipartimento di Ingegneria si impegna a fornire tutte le risorse necessarie (strutture, apparecchiature, personale etc...) per lo svolgimento del progetto ad esso affidate e a farsi carico della relativa gestione amministrativa ed economico-finanziaria;



Considerato che, in caso di ammissione a finanziamento, il Dipartimento di Ingegneria si impegna a tenere, per tutte le transazioni relative al finanziamento, un sistema contabile distinto o un apposito codice contabile;

Vista l'urgenza di procedere con la sottomissione della citata documentazione, necessaria alla presentazione dei piani esecutivi di progetto relativi alla proposta progettuale di cui trattasi, da trasmettere alla Regione Umbria inderogabilmente entro il 26/11/2018;

DECRETA

- di approvare la proposta progettuale dal titolo CARE, da presentare a valere sul *POR FESR 2014-2020 Azione 2.3.1 - Progetti medicina personalizzata*, congiuntamente all'Azienda Ospedaliera di Perugia e alla Regione Umbria, in esecuzione di quanto disposto con Deliberazione della Giunta regionale n. 1304 del 19/11/2018, assieme ai seguenti Dipartimenti:

- Dipartimento di Matematica ed Informatica
- Dipartimento di Economia
- Dipartimento di Medicina;

- di mettere a disposizione, in caso di ammissione al finanziamento, le risorse a disposizione del responsabile del progetto (strutture, apparecchiature) per lo svolgimento della parte di progetto affidata al Dipartimento di Ingegneria e a farsi carico della relativa gestione amministrativa ed economico-finanziaria

- di proporre al Magnifico Rettore la sottoscrizione della documentazione necessaria alla presentazione del progetto suddetto, inclusa la Convenzione esecutiva (di cui all'Allegato 1 al presente decreto, per costituirne parte integrante e sostanziale), relativa alle condizioni per la concessione del finanziamento da parte della Regione Umbria per la realizzazione del progetto CARE, per un importo massimo di € 550.000,00 a valere sulle risorse del POR FESR 2014-2020 Azione 2.3.1, e di tutti gli atti connessi e conseguenti all'eventuale ammissione a finanziamento del progetto stesso.

Il presente decreto verrà sottoposto a ratifica del Consiglio di Dipartimento nella prossima seduta utile.

Il Direttore
(Prof. Giuseppe Saccomandi)
F.to Giuseppe Saccomandi



Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi di Perugia

Allegato n. 7
dell'ordine del giorno N. 8

Oggetto:

Autorizzazione
attivazione borsa di
studio per attività di
ricerca post-laurea -
proponente Dott.ssa
Pisello Anna Laura

Decreto n. 109/2018

Il Direttore

- VISTA** la Legge n. 398 del 30 novembre 1989, recante "Norme in materia di borse di studio universitarie"
- VISTA** la Legge n. 210 del 03 luglio 1998, che, all' art. 4, comma 3, cita testualmente "...alle borse di studio conferite dalle università per attività di ricerca post-laurea si applicano le disposizioni di cui all'art. 6, commi 6 e 7, della legge 30 novembre 1989, n. 398...";
- VISTO** il Regolamento concernente il conferimento di borse di studio per la ricerca e la formazione avanzata, emanato con DR. N. 1527 del 05/07/2005;
- VISTO** il chiarimento interpretativo sull'art.18 c. 5 L. 240/210 espresso dall'Amministrazione Centrale di questo Ateneo con Circolare Prot. 2014/0017480 del 10/06/2014;
- VISTO** il D.L. n. 5/2012, art. 49, comma 1, lettera h), p.5;
- VISTO** il Progetto di Ricerca "SOS CITTA' - SOSTENIBILITA' AMBIENTALE DI SUPERFICI INNOVATIVE PER IL BENESSERE DEI CITTADINI E LA RESILIENZA DELLE CITTA'" Cod. n. 2018.0499.026, co-finanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Perugia, di cui è Responsabile Scientifico la Dott. ssa Anna Laura Pisello e nell'ambito del quale è previsto il finanziamento di borse di studio;
- VISTA** la richiesta presentata in data odierna dalla Dott. ssa Anna Laura Pisello, inerente l'attivazione della procedura per il conferimento di n. 1 borsa di studio per attività di ricerca post-laurea avente ad oggetto "**Studio delle prestazioni termo-energetiche di materiali innovativi per la mitigazione dell'isola di calore urbana e l'efficienza energetica del costruito**", della durata di n. 24 mesi, eventualmente prorogabili, per l'importo di Euro 24.000,00, per lo svolgimento di attività presso il Dipartimento di Ingegneria;
- RAVVISATO** il carattere d'urgenza determinato esclusivamente dalla necessità di garantire l'inizio delle attività di studio e ricerca correlate alla suddetta borsa di studio;

DECRETA

di autorizzare l'emanazione del bando per l'attribuzione di n. 1 borsa di studio per attività di ricerca post-laurea, dal titolo "**Studio delle prestazioni termo-energetiche di materiali innovativi per la mitigazione dell'isola di calore urbana e l'efficienza energetica del costruito**", della durata di n. 24 mesi, eventualmente prorogabili, per l'importo di Euro 24.000,00, per lo svolgimento di attività presso il Dipartimento di Ingegneria e la spesa che ne deriva.

La suddetta borsa, sarà finanziata con fondi di cui è responsabile la Dott.ssa Anna Laura Pisello, appostati sulla voce COAN 07.70.01.06.01, UA.PG.DING.FCRPG18AP.

Il presente decreto sarà portato a ratifica del prossimo Consiglio di Dipartimento.

Perugia, 28/11/2018

Il Direttore
(Prof. Giuseppe Saccomandi)
F.to Giuseppe Saccomandi



Allegato N.8..... al punto
dell'ordine del giorno N.8.....

Università degli Studi di Perugia
Dipartimento di Ingegneria

D.D. n. 112/2018

Il Direttore del Dipartimento di Ingegneria

- Oggetto:**
Procedura di selezione comparativa per titoli e colloquio, per l'assegnazione di una Borsa di Studio per attività di ricerca Post-Laurea – Resp. Dott.ssa Pisello
- VISTO** il Decreto del Direttore del Dipartimento di Ingegneria n. 109/2018 del 28/11/2018 che autorizza la spesa e l'emissione del Bando per l'attribuzione di una Borsa di Studio per attività di ricerca Post Laurea dal titolo "**Studio delle prestazioni termo-energetiche di materiali innovativi per la mitigazione dell'isola di calore urbana e l'efficienza energetica del costruito**" per lo svolgimento di attività presso il Dipartimento di Ingegneria;
- VISTA** la comunicazione della Dott. ssa Pisello, concernente la commissione giudicatrice del concorso per l'attribuzione di detta Borsa di Studio;
- VISTO** l'avviso di procedura comparativa D.D. n. 111/2018 del 03/12/2018 pubblicato in data odierna

DECRETA

di nominare la commissione giudicatrice delle procedure per l'attribuzione di quanto sopra richiamato, come di seguito indicato:

Dott.ssa Anna Laura Pisello	Ricercatore	Presidente
Prof. Andrea Nicolini	P.A.	Membro
Dott. Ssa Beatrice Castellani	Ricercatore	Membro
Prof. Franco Cotana	P.O.	Supplente
Dott. Giorgio Baldinelli	Ricercatore	Supplente

Il presente decreto sarà portato a ratifica del prossimo Consiglio di Dipartimento.

Perugia, 03/12/2018

Il Direttore
F.to Giuseppe Saccomandi



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

D.D. n.113/2018

Oggetto: Designazione
componenti
Commissione RTD
S.C. 09/F1 S.S.D. ING-INF/02

Allegato N. 9 al punto
dell'ordine del giorno N. 2

Vista la legge 30.12.2010 n. 240 ed in particolare l'art. 6, commi 7 e 8 e l'art. 24 (Ricercatori a tempo determinato);

Visto l'art.35 bis del D.Lgs. n.165/2001;

Vista la Legge 190/2012;

Vista la delibera ANVUR n. 132 del 13.09.2016;

Vista la delibera ANAC n. 1208 del 22.11.2017;

Visto l'atto d'indirizzo del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca prot. n. 39 del 14.05.2018;

Visto lo Statuto dell'Università degli Studi di Perugia, emanato con D.R. 889 del 28.5.2012, pubblicato nella G.U. della Repubblica Italiana del 21.6.2012 e successive modificazioni e integrazioni e in particolare l'art. 41, comma 7, in base al quale il Direttore può adottare atti di competenza del Consiglio in casi di comprovata necessità e urgenza;

Visto il Regolamento per l'assunzione di Ricercatori con contratto di lavoro subordinato a tempo determinato ai sensi della legge 30.12.2010 n. 240 approvato dal Senato Accademico di questo Ateneo nella seduta del 20.09.2011, emanato con D.R. n. 1693 del 07.10.2011 e successive modificazioni e integrazioni e in particolare l'art.7;

Visto il D.R. n.1707 del 09.10.2018 con cui è stata indetta la procedura di valutazione comparativa per la sottoscrizione di un contratto di diritto privato per l'instaurazione di un rapporto di lavoro subordinato quale ricercatore universitario a tempo determinato, ai sensi dell'art. 24 - comma 3 - lettera a) della legge 30.12.2010 n. 240, per le finalità e per il Settore Concorsuale 09/F1 – SSD ING-INF/02 per le esigenze del Dipartimento di Ingegneria;

Considerato che sono scaduti i termini per la presentazione delle domande di partecipazione alla procedura di valutazione comparativa sopracitata;

Ritenuto urgente designare i componenti della Commissione giudicatrice della procedura di valutazione comparativa sopracitata, nel rispetto di quanto disposto dall'art.35 bis del D.Lgs. n.165/2001, dall'art. 6, commi 7 e 8, della L. 240/2010 e dalla delibera ANVUR 132/2016;

Dato atto che viene, in merito, rispettato quanto disposto dall'art. 57, comma 1, lettera a., D.Lgs. 165/2001 in materia di pari opportunità;

DECRETA

di designare la seguente Commissione giudicatrice relativa alla procedura di valutazione comparativa per la sottoscrizione di un contratto di diritto privato per l'instaurazione di un rapporto di lavoro subordinato quale ricercatore universitario a tempo determinato ai sensi dell'art.24, comma 3, lettera a), della Legge 240/2010, per tre anni, eventualmente prorogabili per ulteriori due, con regime di tempo pieno, per il settore concorsuale 09/F1 – SSD ING-INF/02, per le esigenze del Dipartimento di Ingegneria:

Prof. Costanzo Alessandra

Dott. Dionigi Marco

Prof. Pierantoni Luca

di cui si allegano le dichiarazioni (all.A) attestanti il rispetto di quanto disposto dall'art.35 bis del D.Lgs. n.165/2001, dall'art. 6, commi 7 e 8, della L.240/2010 e dalla delibera ANVUR 132/2016.

Il presente decreto sarà portato a ratifica del Consiglio nella prossima seduta.

Perugia, lì 5 dicembre 2018

Il Direttore

(Prof. Giuseppe Saccomandi)

F.to Giuseppe Saccomandi

Via G. Duranti, 93
06125 Perugia

Direttore
Segreteria Amministrativa
Segreteria Amministrativa
Segreteria Didattica

Tel: +3975 585 3600
Tel: +3975 585 3653
Tel: +3975 585 3657-3652-3949-3686-3688 FAX 3654
Tel: +3975 585 3605-3603-3604



Allegato N. ... 10 ... al punto
dell'ordine del giorno N. ... 8 ...

**Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi di Perugia**

Decreto n. 114/2018

Il Direttore

Oggetto:

Approvazione atti, e
graduatoria di merito per
Il conferimento di un
Incarico di prestazione
d'opera intellettuale ex
art. 7 co. 6 D. Lgs
165/01 procedura di
selezione comparativa
D.D. 104/2018 - Resp.
Prof. Banelli

- VISTO** l'art. 7, comma 6 del D. Lgs. n. 165/2001 e successive modifiche;
- VISTO** l'art. 73 del Regolamento dell' Università degli Studi di Perugia per l'Amministrazione, la Finanza e la Contabilità;
- VISTO** il Regolamento dell' Università degli Studi di Perugia per la disciplina delle procedure comparative preliminari alla stipula di contratti di collaborazione coordinata e continuativa ovvero occasionale, emanato con D.R. n. 1461 del 25.7.2006;
- VISTA** la Delibera del Consiglio del Dipartimento di Ingegneria nella seduta del 26/10/2018 che autorizza la spesa e l'emissione del bando per l'attribuzione di un incarico di prestazione di lavoro autonomo occasionale avente ad oggetto "**Tecniche di campionamento e ricostruzione di segnali su grafo applicate a reti di sensori wireless dotate di sistemi di Energy-harvesting**";
- VERIFICATA** l'assenza di professionalità interne con Avviso prot. n. 85254 pubblicato in data 30/10/2018 sul sito web dell'Ateneo;
- VISTO** l'avviso di procedura comparativa D.D. n. 104/2018 pubblicato in data 07/11/2018 sul sito web dell'Ateneo;
- Considerato altresì che**, come disposto dall'art. 1, comma 303, lett. a) della Legge n. 232/2016, l'efficacia del conferimento del suddetto incarico *non* sarà più subordinata al positivo esito del controllo preventivo di legittimità della Corte dei Conti (previsto dall'art. 3, comma 1, lettera f-bis, legge 20/1994, modificato dall'art. 17, comma 30, del D. Lgs. 78/2009, convertito con L. 102/2009);
- ESAMINATI** i verbali della riunione della Commissione giudicatrice redatti in data odierna;
- VERIFICATA** la regolarità della procedura,

DECRETA

Art. 1 - Sono approvati gli atti della procedura di valutazione comparativa, per il conferimento di un incarico di lavoro autonomo occasionale, per l'espletamento di attività altamente qualificate indicate nell' avviso di procedura comparativa D.D. n. 104/2018 pubblicato in data 07/11/2018, della durata e per l'importo ivi indicati;

Art. 2 - E' approvata la seguente graduatoria di idoneità della procedura di valutazione comparativa di cui all'art. 1 del presente decreto:

1^ - BATTILORO CLAUDIO (85,30/100)

Art. 3 - E' dichiarato assegnatario della selezione di cui all'art. 1 del presente decreto il **Dott. BATTILORO CLAUDIO** a cui si conferisce l'incarico oggetto della sopra richiamata procedura comparativa.

Il presente decreto sarà portato a ratifica del prossimo Consiglio di Dipartimento.

Perugia, 05/12/2018

Il Direttore

F.to Giuseppe Saccomandi



Allegato N. al punto
dell'ordine del giorno N.

UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PERUGIA

Dipartimento di Ingegneria

D.S.A. n. 34/2018

Oggetto:

Il Segretario Amministrativo

Variatione di
Maggiori Entrate per
Contratti/convenzioni
/accordi programma
con unione europea -
Progetto Erasmus+
"FUN@SCIENCE" -
Progetto H2020 "E-
BRAKE"

VISTA la Legge n. 240/2010;

VISTO l'art. 32 del vigente Regolamento per l'amministrazione, la finanza e la contabilità dell'Università degli Studi di Perugia che, nello specifico al punto 1) lettera b) recita *"le variazioni del budget all'interno del singolo Centro Gestionale comportanti trasferimento di risorse tra conti di budget economico o, parimenti, tra conti di budget degli investimenti, previa verifica del rispetto dei vincoli di legge sulle singole nature di spesa interessate e a condizione che non alterino la disponibilità complessiva del Centro, che sono autorizzate dal Responsabile dei Centri Istituzionali e dal Direttore Generale per le Strutture Dirigenziali;"*, da cui consegue che le suddette variazioni sono sempre assunte con provvedimento del Responsabile dei Centri Istituzionali che provvede quindi alla conseguente registrazione nel gestionale di contabilità UGov e che è responsabile dell'invio in posta elettronica, per conoscenza, del provvedimento al Collegio dei Revisori e successivamente inoltrare lo stesso provvedimento all'Ufficio Coordinamento e controllo Centri Istituzionali e Centri di Servizio";

VISTA la delibera del Consiglio di Dipartimento n.3 del 29/09/2017 con cui è stata approvata la proposta di budget di previsione annuale 2018 e triennale 2018-2020;

VISTA la valutazione positiva della proposta progettuale ed il relativo accoglimento del finanziamento per il progetto di ricerca "E-BRAKE" - H2020-CS2-CFP07-2017-02 Grant Agreement n. 821079, finanziato da parte della Comunità Europea per un importo complessivo di euro 90.000,00, proposto dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia e del quale è responsabile scientifico il prof. Paolo Valigi;

VISTA la valutazione positiva della proposta progettuale ed il relativo accoglimento del finanziamento per il progetto di ricerca Erasmus+ "FUN@SCIENCE" Project n. 2017-1-PT01-KA201-035929, finanziato da parte della Comunità Europea per un importo complessivo di euro 11.938,00, proposto dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia e del quale è responsabile scientifico il Dott. Roberto Marsili e considerato il sospenso di entrata n. 0011959 del 28/09/18, pari ad euro 9.550,00 e relativo alla prima tranche del medesimo progetto liquidata dal coordinatore Agrupamento de Escolras de Emidio Navarro;

PRESO ATTO che nella parte RICAVI, per la voce CA.03.01.03.04.01 relativa a *"Finanziamenti competitivi erogati da organismi internazionali"*, e nella parte COSTI per la voce CA.07.70.01.04.01 relativa a *"Costi operativi progetti - quota di competenza per finanziamenti competitivi per ricerca da parte dell'unione europea"* non risulta esservi alcuna disponibilità;

RAVVISATA la necessità, per la corretta applicazione del principio di competenza degli eventi contabili per effetto delle determinazioni di nuovi crediti divenuti esigibili, di provvedere alle conseguenti registrazioni nel gestionale di contabilità per la pari entità parte RICAVI e parte COSTI, ritenendo dunque opportuno procedere con una variazione di maggiori entrate per complessivi euro 101.938,00;

RITENUTO necessario procedere alle relative variazioni al Bilancio Unico di Ateneo di previsione annuale autorizzatorio dell'esercizio 2018;

DECRETA

di autorizzare, a seguito del perfezionamento di atti propedeutici a nuove entrate, la cui disponibilità nelle rispettive voci COAN risulta insufficiente nella previsione di budget 2018, in premessa indicata, per complessivi € 101.938,00, la conseguente variazione di maggiori entrate:



pag. 2 D.S.A. n. 34/2018

RICAVI

Voce COAN

CA.03.01.03.04.01 "Finanziamenti competitivi erogati da organismi internazionali" + € 101.938,00
TOTALE + € 101.938,00

COSTI

Voce COAN

CA.07.70.01.04.01 "Costi operativi progetti –quota di competenza per finanziamenti competitivi per ricerca da parte dell'unione europea" + € 101.938,00
TOTALE + € 101.938,00

Di trasmettere scansione dell'originale del presente decreto al Collegio dei Revisori dei Conti, come previsto dall'art.32 del vigente Regolamento per l'amministrazione, la finanza e la contabilità, richiamato in premessa.

Perugia, 30/10/2018

Il Segretario Amministrativo
Dipartimento di Ingegneria
f.to Sig. Giovanni Magara



Allegato N. 2 al punto
nell'ordine del giorno N. 8

UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PERUGIA

Dipartimento di Ingegneria

D.S.A. n. 35/2018

Il Segretario Amministrativo

VISTO La legge 240/2010;

VISTO l'art. 32 del vigente Regolamento per l'amministrazione, la finanza e la contabilità dell'Università degli Studi di Perugia, vigente che, nello specifico al punto 1) lettera b) recita "le variazioni del budget all'interno del singolo Centro Gestionale comportanti trasferimento di risorse tra conti di budget economico o, parimenti, tra conti di budget degli investimenti, previa verifica del rispetto dei vincoli di legge sulle singole nature di spesa interessate e a condizione che non alterino la disponibilità complessiva del Centro": sono sempre assunte con provvedimento del Responsabile dei Centri Istituzionali che provvede quindi alla conseguente registrazione nel gestionale di contabilità U-Gov e che è responsabile dell'invio in posta elettronica, per conoscenza, del provvedimento al Collegio dei Revisori e successivamente inoltrare lo stesso provvedimento all'Ufficio Coordinamento e controllo Centri Istituzionali e Centri di Servizio;

VISTO il nuovo Regolamento per l'attività conto terzi, emanato con D.R. n.201 del 18/02/2015, approvato dal Senato Accademico e dal Consiglio di Amministrazione nelle sedute del 04/02/2015;

VISTI i piani finanziari redatti, ai sensi degli art.9 e 10 del sopracitato regolamento per l'attività conto terzi, dai singoli responsabili scientifici dei progetti conto terzi nel corso dell'esercizio 2017 e 2018 dai quali risulta, quale quota destinata al prelievo forfettario per costi generali di supporto alle attività di ricerca un ammontare complessivo pari ad € 23.170,00, così suddivisi:

Prof.ssa Cinzia Buratti:

PJ UA.PG.DING.FAIL16CB CA.07.70.01.05.01 "Costi operativi progetti - attivita' c/terzi e cessione di risultati di ricerca per € 3.885,00;

PJ UA.PG.DING.CBURATTI CA.07.70.01.05.01 "Costi operativi progetti - attivita' c/terzi e cessione di risultati di ricerca per € 1.988,10;

PJ UA.PG.DING.PBURATTI CA.07.70.01.05.01 "Costi operativi progetti - attivita' c/terzi e cessione di risultati di ricerca per € 296,90, per un totale complessivi di € 6.170,00

Prof.ssa Elisa Moretti:

PJ UA.PG.DING.ENEA17EM CA.07.70.01.05.01 "Costi operativi progetti - attivita' c/terzi e cessione di risultati di ricerca per un importo di € 5.000,00;

Prof. Paolo Valigi:

PJ UA,PG.DING.CVALIGI CA.07.70.01.05.01 "Costi operativi progetti - attivita' c/terzi e cessione di risultati di ricerca per un importo di € 12.000,00;

VISTE le richieste presentate in data 19/09/2018 dalle prof.ssa Cinzia Buratti e prof.ssa Elisa Moretti in merito allo spostamento delle quote destinate al prelievo forfettario appostate sui PJ sopra indicati al PJ TAKECOIST17CB per poter cofinanziare un progetto di ricerca in materia di vetrate innovative a base di aerogel;

VISTA la richiesta presentata in data 22/10/2018 dal prof. Paolo Valigi in merito allo spostamento delle quote destinate al prelievo forfettario appostate sul PJ sopra indicato al PJ AGRIST18PV per poter cofinanziare un progetto di ricerca in materia di algoritmi orientati ai dati per modelli di rilevazione e previsione di anomalie;

CONSIDERATO che, la predisposizione di una procedura contabile mediante trasferimento interno per l'assegnazione delle citate risorse, utilizzabili per costi a sostegno delle spese generali ed in ogni caso per attività di interesse comune della Struttura, garantisce una più agevole e opportuna corretta imputazione del singolo costo a carico del PJ di riferimento, assicurando il corretto funzionamento del metodo "cost to cost";

Oggetto:

Disposizioni per trasferimenti interni – Movimentazioni interne per prelievo forfettario dipartimento 15% da attività conto terzi per la copertura dei costi per la ricerca



RITENUTO necessario procedere alle relative variazioni al Bilancio Unico di Ateneo di previsione annuale autorizzatorio dell'esercizio 2018;

DECRETA

- 1) di autorizzare, a seguito del trasferimento interno, in premessa indicato, per complessivi € **23.170,00**, suddiviso per le quote di seguito riportate a gravare sui PJ a fianco di ciascuna indicati:
- € 3.885,00 PJ: UA.PG.DING.FAIL16CB;
 - € 1.988,10 PJ UA.PG.DING.CBURATTI;
 - € 296,90 PJ UA.PG.DING.PBURATTI;
 - € 5.000,00 PJ UA.PG.DING.ENEAI7EM;
 - € 12.000,00 PJ UA.PG.DING.CVALIGI e del reincameramento della suddetta somma nei trasferimenti interni di ricavo (voce COAN CA.03.05.01.12.01 "Trasferimenti Interni Vari"), la conseguente variazione:

Voce COAN

CA.03.05.01.12.01 "Trasferimenti Interni Vari"

€ 11.170,00 UA.PG.DING.TAKECOIST17CB

€ 12.000,00 UA.PG.DING.AGRIST18PV

+ € 23.170,00

+ € 23.170,00

TOTALE

Voce COAN

CA:07.70.01.06.01- "Costi operativi progetti- finanziamenti non competitivi per la ricerca"

€ 11.170,00 UA.PG.DING.TAKECOIST17CB

€ 12.000,00 UA.PG.DING.AGRIST18PV

+ € 23.170,00

+ € 23.170,00

TOTALE

- 2) Di trasmettere scansione dell'originale del presente decreto al Collegio dei Revisori dei Conti, come previsto dall'art.32 del vigente Regolamento per l'amministrazione, la finanza e la contabilità, richiamato in premessa.
Il presente decreto sarà portato a conoscenza del Consiglio di Dipartimento nella prima seduta utile.

Perugia, 06/11/2018

Il Segretario Amministrativo
Dipartimento di Ingegneria

f.to Sig. Giovanni Magara



Allegato N. 3 al punto
dell'ordine del giorno N. 9

UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PERUGIA
Dipartimento di Ingegneria

D.S.A. n. 36/2018

Il Segretario Amministrativo

VISTA la Legge n. 240/2010;

Oggetto:

Disposizioni per
nuovi assegni di
ricerca proponente
prof. P. Valigi e
Dott.ri R. Vincenti
Gatti e F. Frescura
Autorizzazione
Ufficio Compensi
partizione

VISTO l'art. 32 del vigente Regolamento per l'amministrazione, la finanza e la contabilità dell'Università degli Studi di Perugia, emanato con D.R. n.389 del 18/03/2013, successivamente modificato con D.R. n.469 del 24/03/2016 che, nello specifico al punto 1) lettera b) **"le variazioni del budget all'interno del singolo Centro Gestionale comportanti trasferimento di risorse tra conti di budget economico o, parimenti, tra conti di budget degli investimenti, previa verifica del rispetto dei vincoli di legge sulle singole nature di spesa interessate e a condizione che non alterino la disponibilità complessiva del Centro"**: sono sempre assunte con provvedimento del Responsabile dei Centri Istituzionali che provvede quindi alla conseguente registrazione nel gestionale di contabilità UGov e che è responsabile dell'invio in posta elettronica, per conoscenza, del provvedimento al Collegio dei Revisori e successivamente inoltrare lo stesso provvedimento all'Ufficio Coordinamento e controllo Centri Istituzionali e Centri di Servizio;

VISTA la nota del Dirigente della Ripartizione Gestione Risorse Finanziarie prot. N. 3449 del 03.02.2015 recante *"Note operative U.GOV – modalità di attivazione/proroga/rinnovi assegni di ricerca ..."*

VISTA la direttoriale prot. n. 92123 del 15/12/2016 relativa alle nuove modalità per l'attivazione di Assegni di ricerca su nuovi finanziamenti acquisiti a partire dall'esercizio 2017, dalla quale si evince chiaramente che per le richieste inoltre dal prof. P. Valigi e dal Dott. Fabrizio Frescura rientrano nella nuova modalità, mentre per la richiesta inoltra dal Dott. Roberto Vincenti Gatti la procedura rimane invariata;

VISTA la richiesta inoltrata dal **Prof. Paolo Valigi** - SSD- ING-INF/04 per l'attivazione di un nuovo dell'assegno di ricerca dal titolo: *Strumenti di Machine learning applicati alla robotica e all'automativa* con durata di 12 mesi per un importo pari ad €29.000,00(EURO ventinovemila/00);

CONSIDERATO che il costo del suddetto nuovo assegno sarà garantito con fondi appostati sulla macrovoce "Finanziamento Assegni di Ricerca nella voce di costo: CA 07.70.01.04.01 "Costi operativi progetti – finanziamenti competitivi erogati da organismi internazionali" PJ UA.PG.DING. E_BRAKE17PV di cui il richiedente è responsabile;

VISTA la richiesta inoltrata dal **Prof. Paolo Valigi** - SSD- ING-INF/04 per l'attivazione di un nuovo dell'assegno di ricerca dal titolo: *Studio e Sviluppo di algoritmi orientati ai dati per modelli di rilevazione e previsione di anomalie* con durata di 12 mesi per un importo pari ad € 23.800,00 (EURO ventitremilaottocento/00);

CONSIDERATO che il costo del suddetto nuovo assegno sarà garantito con fondi appostati sulla macrovoce "Finanziamento Assegni di Ricerca nella voce di costo CA 07.70.01.01.01 "Costi operativi progetti - finanziamenti non competitivi per la ricerca" P.J. UA.PG.DING.AGRIST18PV di cui il richiedente è responsabile;



VISTA la richiesta inoltrata dal **Dott. Fabrizio Frescura** - SSD- ING-INF/03 per l'attivazione di un nuovo assegno di ricerca dal titolo: "*Sensoristica Digitale per applicazioni Smart Livestock Farming*" con durata di 12 mesi per un importo pari ad € 24.400,00 (EURO ventiquattromilaquattrocento/00);

CONSIDERATO che il costo del suddetto nuovo assegno sarà garantito con fondi appostati sulla macrovoce "Finanziamento Assegni di Ricerca nella voce di costo: CA 07.70.01.06.01 "Costi operativi progetti – finanziamenti non competitivi per la ricerca" PJ UA.PG.DING. PSR17FFRE di cui il richiedente è responsabile;

VISTA la richiesta inoltrata dal **Dott. Fabrizio Frescura** - SSD- ING-INF/03 per l'attivazione di un nuovo assegno di ricerca dal titolo: "*Algoritmi di Machine Learning e per applicazioni Smart Livestock Farming*" con durata di 12 mesi per un importo pari ad € 24.400,00 (EURO ventiquattromilaquattrocento/00);

CONSIDERATO che il costo del suddetto nuovo assegno sarà garantito con fondi appostati sulla macrovoce "Finanziamento Assegni di Ricerca nella voce di costo: CA 07.70.01.06.01 "Costi operativi progetti – finanziamenti non competitivi per la ricerca" PJ UA.PG.DING. PSR17FFRE di cui il richiedente è responsabile;

VISTA la richiesta inoltrata dal **Dott. Roberto Vincenti Gatti** - SSD- ING-INF/02 per l'attivazione di un nuovo assegno di ricerca dal titolo: "*Sistemi radar innovativi basati su architetture a onda continua e antenne a scansione in frequenza*" con durata di 12 mesi per un importo pari ad €23.786,76 (EURO ventitremilasettecentottantasei/76);

CONSIDERATO che il costo del suddetto nuovo assegno sarà garantito con fondi appostati sulla voce di costo CA.07.70.01.01.03 "Costi operativi progetti - quota di competenza per altri finanziamenti competitivi da miur" PJ UA.PG.DING.ENIACFEA di cui il Prof. Federico Alimenti è responsabile;

RITENUTO necessario procedere alle relative variazioni al Bilancio Unico di Ateneo di previsione annuale autorizzatorio dell'esercizio 2018;

DECRETA

- 1) di autorizzare l'Ufficio Compensi ai successivi pagamenti delle mensilità spettanti ai vincitori a gravare su fondi appostati sulla macrovoce "Finanziamento per Assegni di Ricerca":
PJ UA.PG.DING. E_BRAKE17PV per un totale di € 29.000,00 di cui è responsabile il Prof. Paolo Valigi;
PJ UA:PG.DING.AGRIST17PV per un totale di € 23.800,00 di cui è responsabile il Prof. Paolo Valigi;
PJ UA.PG.DING. PSR17FFRE per un totale di € 48.800,00 di cui è responsabile il Dott. Fabrizio Frescura;
- 2) di autorizzare, a seguito del trasferimento interno per € 23.786,76 dal PJ: UA.PG.DING.ENIACFEA e del reincameramento della suddetta somma nei trasferimenti interni di ricavo (voce COAN CA.03.05.01.09.01.03 "Ricavi interni per trasferimenti di costi per assegni di ricerca"), la conseguente variazione:



pag. n. 2 del DSA n.36/18

Voce COAN	
CA.03.05.01.09.01 "Trasferimenti Interni Correnti"	
UA.PG.DING	+ € 23.786,76
Voce COAN	
CA.04.08.01.02.01 "Assegni di Ricerca"	
UA.PG.DING	+ € 23.786,76

di autorizzare l'Ufficio Compensi ad effettuare la partizione della voce COAN 04.08.01.02.01 "Assegni di Ricerca" dalla UA.PG.DING alla UA.PG.ACEN per l'importo di 23.786,76 (EURO ventitremilasettecentottantasei/76) e ai successivi pagamenti delle mensilità spettante al vincitore.

Il presente decreto sarà portato a conoscenza del Consiglio di Dipartimento nella prima seduta utile.

Perugia, 06/11/2018

Il Segretario Amministrativo
Dipartimento di Ingegneria

f.to Sig. Giovanni Magara



Allegato N. 4 al punto
dell'ordine del giorno N. 9

UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PERUGIA

Dipartimento di Ingegneria

D.S.A. n.37/18

Oggetto:

Variazione al Bilancio
Unico di Previsione
Autorizzatorio - Esercizio
2018

Il Segretario Amministrativo

VISTO l'art. 32 comma 1 - lett. e) del Regolamento per l'Amministrazione la Finanza e la Contabilità dell'Università degli Studi di Perugia emanato con D.R. n. 389 del 18.03.2013 e modificato con D.R. n. 469 del 24.03.2016;

CONSIDERATO che tutte le somme disponibili al 31.12.2017, assegnate ai Progetti di pertinenza, derivanti da rapporti convenzionali e/o contratti per lo sviluppo di ricerca di natura, sia istituzionale che commerciale, con enti pubblici e privati sono state considerate grandezze vincolate ed in quanto tali, riportate nel Budget Economico dell'esercizio finanziario 2018 mantenendo l'assegnazione ai Progetti di origine;

PRESO ATTO delle richieste pervenute all'Amministrazione del Dipartimento, volte al sostenimento di costi aventi natura di investimento, presentate da vari responsabili di progetto, per un ammontare complessivo di € 24.263,95 per le voci COAN di seguito indicate:

CA.07.70.01.01.01- Costi operativi progetti - quota di competenza per finanziamenti competitivi da miur - progetti di ricerca di rilevante interesse nazionale € 8.953,90;

CA.07.70.01.05.01 - Costi operativi progetti - attività c/terzi e cessione di risultati di ricerca - € 11,596,98;

CA.07.70.01.06.01 - Costi operativi progetti - finanziamenti non competitivi per la ricerca € 1.291,37;

CA.09.90.01.01.09 - Ricerca di base - Budget economico € 1.720,20;

CA.09.90.01.01.10 - Funzionamento strutture didattiche - Budget economico € 701,50;

CONSIDERATO che al fine di consentire una corretta imputazione dei costi aventi natura di investimento nei singoli progetti di ricerca si ritiene opportuno appostare le disponibilità finanziarie nelle corrispondenti voci COAN del budget investimenti come di seguito indicato:



CA.08.80.01.01.01 - Costi di investimento progetti - quota di competenza per finanziamenti competitivi da miur - progetti di ricerca di rilevante interesse nazionale € 8.953,90

CA.08.80.01.05.01 - Costi di investimento progetti - attività in conto terzi e cessione di risultati di ricerca - €11.596,98;

CA.08.80.01.06.01 - Costi di investimento progetti - finanziamenti non competitivi per la ricerca € € 1.291,37;

CA.10.10.01.01.19 - Ricerca di base – Budget investimenti € 1.720,20;

CA.10.10.01.01.20 - Funzionamento strutture didattiche - Budget investimenti € 701,50;

RITENUTO necessario ed urgente procedere alle relative variazioni al Bilancio Unico di Ateneo di previsione annuale autorizzatorio dell'esercizio finanziario 2018;

DECRETA

di proporre all'Ufficio Budgeting e Bilancio Unico di Ateneo la seguente variazione al Bilancio Unico di Previsione Autorizzatorio dell'esercizio finanziario 2018:

costi - UA.PG.DING

CA.07.70.01.01.01- Costi operativi progetti - quota di competenza per finanziamenti competitivi da miur - progetti di ricerca di rilevante interesse nazionale	- € 8.953,90
CA.07.70.01.05.01 - Costi operativi progetti - attività c/terzi e cessione di risultati di ricerca	- € 11.596,98
CA.07.70.01.06.01 - Costi operativi progetti - finanziamenti non competitivi per la ricerca	- € 1.291,37
CA.09.90.01.01.09 - Ricerca di base - Budget economico	- 1.720,20
CA.09.90.01.01.10 - Funzionamento strutture didattiche - Budget economico	- € 701,50

costi - UA.PG.DING

CA.08.80.01.01.01 - Costi di investimento progetti - quota di competenza per finanziamenti competitivi da miur - progetti di ricerca di rilevante interesse nazionale	+ € 8.953,90
CA.08.80.01.05.01 - Costi di investimento progetti - attività in conto terzi e cessione di risultati di ricerca	+ € 11.596,98
CA.08.80.01.06.01 - Costi di investimento progetti - finanziamenti non competitivi per la ricerca	+ € 1.291,37
CA.10.10.01.01.19 - Ricerca di base – Budget investimenti	+ 1.720,20
CA.10.10.01.01.20 - Funzionamento strutture didattiche - Budget investimenti	+ € 701,50



Il presente decreto sarà portato a ratifica del Consiglio di Dipartimento nella prima seduta utile.

Perugia, 23/11/2018

Il Segretario Amministrativo
Dipartimento di Ingegneria

f. to Sig. Giovanni Magara